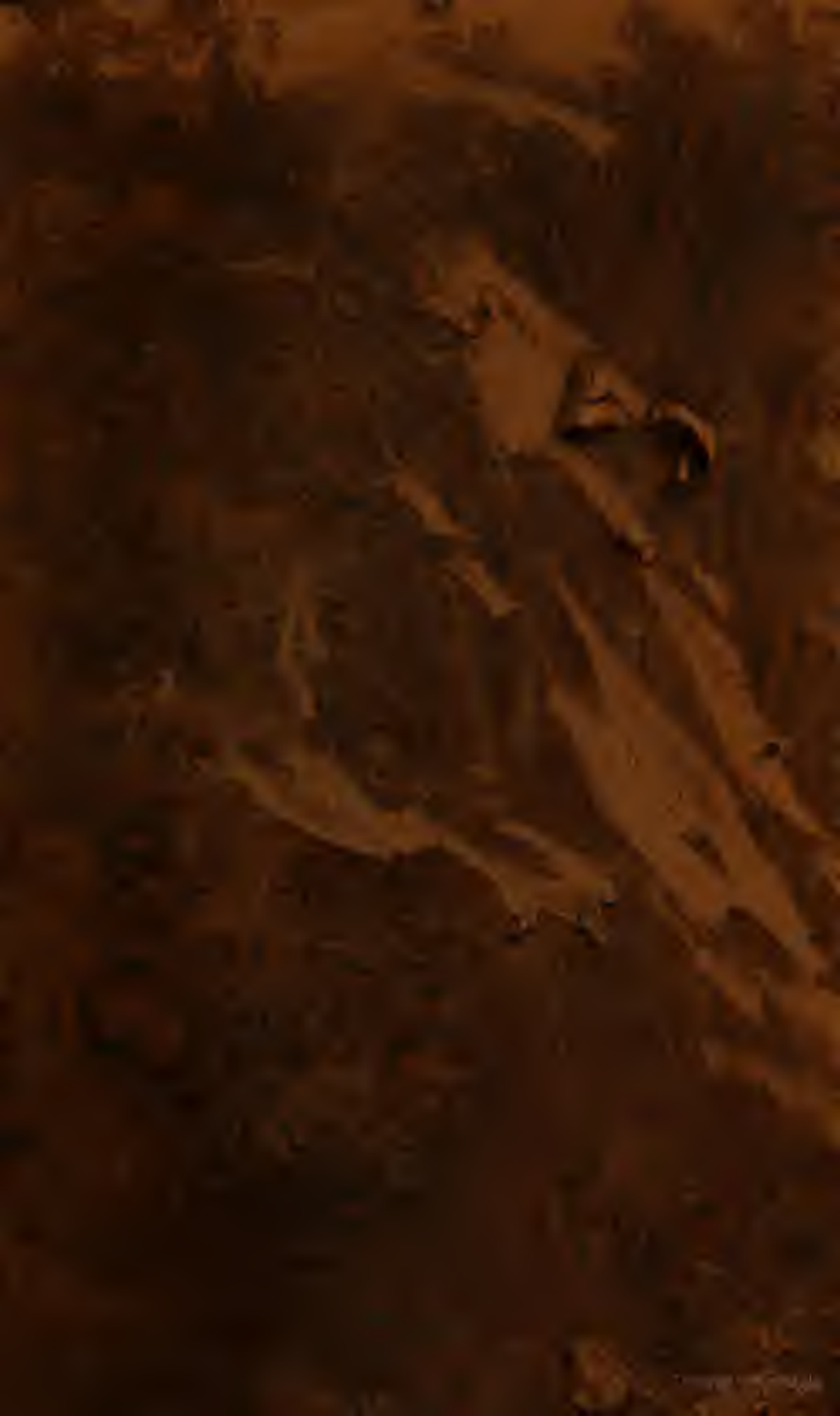


ioRÉL et
de sa
es deux
ngelo a

BIBLIOTECA PROVINCIALE
Armadio
Palchetto
Num.° d' ordine

B-Ex1-
II
71,5-71,8

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DE

PHYSIQUE.

609923 SBN

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

OU

PRINCIPES

DE PHYSIQUE,

Fondés sur les connoissances les plus certaines, tant anciennes que modernes, et confirmés par l'expérience.

PAR MATHURIN-JACQUES BRISSON,

Membre de l'Institut national des Sciences et des Arts, et Professeur aux Écoles centrales de Paris.

QUATRIÈME ÉDITION,

REVUE, CORRIGÉE ET AUGMENTÉE PAR L'AUTEUR.

TOME PREMIER.

BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

A PARIS,

CHEZ BOSSANGE, MASSON ET BESSON.

AN XI. — MDCCCIII.

DISCOURS PRÉLIMINAIRE.

Depuis environ vingt-cinq ans, on a fait, sur la composition des corps et sur la nature de leurs parties intégrantes, un grand nombre d'expériences, et telles enfin qu'on devoit les faire pour obtenir des résultats satisfaisans. La manière dont on les faisoit ci-devant, n'étoit rien moins qu'exacte. En analysant un corps, on trouvoit quelquefois des substances qu'on croyoit entrer dans la composition de ce corps : on étoit souvent dans l'erreur ; ces substances s'étoient formées pendant l'opération : on en auroit eu la preuve, si l'on s'étoit assuré du poids, qu'on auroit trouvé plus grand que n'étoit celui du corps mis à l'épreuve. Aujourd'hui on tient une note exacte de ce poids, et l'on prend toutes les précautions nécessaires pour recueillir tout ce qui s'échappe pendant l'analyse, et si l'on trouve une augmentation de poids, on est sûr qu'il y a eu un nouvel être de formé : il ne s'agit plus que de découvrir quelle est la substance qui a fourni les parties qui sont entrées dans la composition de ce nouvel être ; et l'on y parvient en observant quelles sont celles avec lesquelles le corps analysé a été en contact pendant l'opération.

Ces expériences ont appris qu'il y a un grand nombre de corps qui peuvent prendre l'état de fluide élastique : c'est sous ce point de vue que l'on a considéré ces corps. Les nouveaux procédés qu'on a employés pour reconnoître leur composition et leurs propriétés, et le grand nombre de Savans qui, dans toute l'Europe, se sont occupés de ce genre de recherche, ont enrichi les différentes branches de la Physique d'un nombre considérable de découvertes. Des phénomènes, qui jusques là avoient paru isolés, et n'avoir aucune relation entre eux, ont été liés par des faits nouveaux ; et la Science présente aujourd'hui une suite de faits et plus nombreuse et mieux ordonnée.

Mais depuis cette époque, que l'on peut regarder comme celle d'un véritable renouvellement dans les Sciences d'observation, les découvertes ont été publiées chacune en particulier à mesure qu'elles se sont offertes : elles se trouvent éparses dans les Mémoires de différentes Sociétés savantes, et dans quelques Traités particuliers ; et personne n'avoit encore entrepris de les réunir en corps de doctrine. Il nous manquoit donc un Traité de Physique, dans lequel les faits fussent, d'après leur dépendance mutuelle, réduits à un petit nombre de phénomènes généraux, qu'on pût regarder comme *Principes*, et où ceux-ci fussent eux-mêmes présentés dans un ordre systématique, et liés entre eux par une chaîne facile à saisir. C'est ce que j'ai tâché

de faire dans l'ouvrage que j'ai l'honneur de présenter au Public.

Tout ce que j'ai avancé et regardé comme *Principe*, est fondé sur les expériences les plus concluantes. Je n'ai adopté aucuns systêmes; je les crois souvent propres à arrêter les progrès de la Physique : ils sont en général très-nuisibles aux Sciences. Pour les former, on fait des hypothèses et des suppositions gratuites, et souvent inconcevables : après les avoir répétés dix ou douze fois, on croit les avoir prouvées; et on part de là pour dire : *Nous avons démontré.*

Les faits nombreux et nouvellement connus que présentent les fluides élastiques, ainsi que les substances dont on les extrait, ou du moins celles dont on fait usage pour se les procurer, nous ayant donné lieu d'observer un grand nombre d'êtres nouveaux et jusqu'alors inconnus, il a été nécessaire de leur donner des noms pour pouvoir les désigner; et ces noms sont tels, qu'ils indiquent quels sont les parties constituantes de ces substances. Pour mettre de l'uniformité dans le discours et dans les idées, on a de même donné des noms analogues et aussi significatifs aux substances anciennement connues. De là, il est résulté une langue nouvelle, dont j'ai fait usage, et qui est beaucoup plus significative que l'ancienne; car, par exemple, ces noms, *sel de seignette*, *sel de duobus*, n'apprendront à qui que ce soit, de quoi ces sels sont composés; au lieu que *tartrite de soude*, qui

est le nom nouveau du premier, et *sulfate de potasse*, qui est celui du second, m'apprennent que l'un est formé par la combinaison de l'acide tartareux avec la soude, et l'autre par la combinaison de l'acide sulfurique avec la potasse, et ainsi des autres. Qu'on n'imagine pas que cette nouvelle langue exige une longue étude; je suis persuadé que quiconque voudra s'en donner la peine, la saura en trois quarts-d'heure. Il y a environ cinquante mots dont il faut se ressouvenir; encore y en a-t-il plusieurs qui ont des terminaisons semblables, quand ils ont des significations analogues.

Mais afin qu'on soit dispensé de chercher et d'avoir recours à un autre ouvrage, j'ai placé ci-après deux Synonymies des noms anciens et nouveaux, rangés par ordre alphabétique, et dans lesquelles on trouvera tous les noms employés dans cet ouvrage. Dans la première, on trouvera d'abord les noms anciens, à côté desquels sont les noms nouveaux ou adoptés qui leur correspondent : dans la seconde, qui est l'opposé de la première, chaque nom nouveau y est accompagné de tous ses synonymes anciens; et l'on verra qu'il y a telle substance à laquelle les anciens ont donné jusqu'à douze ou quatorze noms différens. Quelle confusion cela n'est-il pas capable de mettre dans l'esprit des étudians?

Cet ouvrage, qui est destiné à la jeunesse de l'un et l'autre sexe, comprend toutes les questions relatives à la Physique; et afin de pouvoir

être entendu des uns et des autres, je me suis attaché à y mettre le plus de clarté qu'il m'a été possible. Pour cela j'ai cherché à être bref et concis; car, depuis le grand nombre d'années que j'enseigne le Public, j'ai toujours remarqué que plus mes explications étoient courtes et serrées, mieux j'étois entendu. C'est pourquoi cet ouvrage, malgré la grande quantité de matériaux qu'il contient, ne forme que trois volumes *in*-8°.; et cependant je crois n'avoir rien oublié.

Cet ouvrage est divisé en vingt chapitres. Le premier traite des Propriétés générales des corps, qui sont au nombre de douze; le second, du Mouvement et de ses loix; le troisième, des Causes qui changent la direction du mouvement; le quatrième, des Loix du mouvement composé; le cinquième, des Forces centrales; le sixième, de la Gravité ou Gravitation des corps; le septième, de la Pesanteur des corps; le huitième, de l'Hydrodynamique, qui comprend l'Hydrostatique et l'Hydraulique; le neuvième traite de la Mécanique statique; le dixième, des Fluides élastiques; l'onzième, des Propriétés de l'Air; le douzième, des Propriétés de l'Eau; le treizième, de la Nature et des Propriétés du Feu; le quatorzième, de la Nature et des Propriétés de la Lumière : là sont comprises l'Optique, la Catoptrique, la Dioptrique, et les Couleurs; le quinzième, de la Vision des objets, soit naturelle, soit artificielle : dans cette dernière, on trouve la description et l'usage de tous

les instrumens d'Optique; le seizième traite de l'Astronomie physique; le dix-septième, du Flux et Reflux, de ses Phénomènes et de ses causes; le dix-huitième, du Magnétisme; le dix-neuvième, de l'Électricité; j'y ai joint l'Analogie entre les effets du Tonnerre et ceux de l'Électricité, ainsi que les causes des Aurores boréales et des Trombes; le vingtième enfin traite du Galvanisme.

L'ouvrage est terminé par une table des Matières, rangées par ordre alphabétique, qui en fait l'équivalent d'un Dictionnaire, au moyen duquel on pourra trouver sur-le-champ la question dont on aura besoin, et tout ce qui y a rapport.

Je fais précéder tout ceci par une *Instruction sur les nouveaux Poids et Mesures*, qui deviendra très-utile, lorsqu'on fera usage de ces Mesures et de ces Poids.

SYNONYMIE

ANCIENNE ET NOUVELLE,

PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

A

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Acète ammoniacal.	Acétite ammoniacal. Acétite d'ammoniaque.
Acète calcaire.	Acétite de chaux.
Acète d'argile.	Acétite alumineux.
Acète de cuivre.	Acétite de cuivre.
Acète de magnésie.	Acétite de magnésie.
Acète de plomb.	Acétite de plomb.
Acète de potasse.	Acétite de potasse.
Acète de soude.	Acétite de soude.
Acète de zinc.	Acétite de zinc.
Acète martial.	Acétite de fer.
Acète mercuriel.	Acétite mercuriel.
Acide acéteux.	Acide acéteux.
Acide aérien.	Acide carbonique.
Acide arsenical.	Acide arsenique.
Acide atmosphérique.	Acide carbonique.
Acide benzonique.	Acide benzoïque.
Acide bézoardique.	Acide lithique.
Acide boracin.	Acide boracique.
Acide charbonneux.	Acide carbonique.
Acide citronien.	Acide citrique.
Acide crayeux.	Acide carbonique.
Acide de la molybdène.	Acide molybdique.
Acide de l'oseille.	Acide oxalique.
Acide de l'urine.	Acide phosphoriqne.
Acide des fourmis.	Acide formique.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Acide des pommes.	Acide malique.
Acide du benjoin.	Acide benzoïque.
Acide du borax.	Acide boracique.
Acide du calcul.	Acide lithique.
Acide du camphre.	Acide camphorique.
Acide du sel marin.	Acide muriatique.
Acide du soufre.	Acide sulfurique.
Acide du succin.	Acide succinique.
Acide du sucre.	Acide oxalique.
Acide du sucre de lait.	Acide saccho-lactique.
Acide du suif.	Acide sébacique.
Acide du tartre.	Acide tartareux.
Acide du ver à soie.	Acide bombique.
Acide du vinaigre.	Acide acéteux.
Acide du wolfram de MM. Delhuyar.	Acide tunstique.
Acide fluorique.	Acide fluorique.
Acide formicin.	Acide formique.
Acide galactique.	Acide lactique.
Acide gallique.	Acide gallique.
Acide lignique.	Acide pyro-ligneux.
Acide lithiasique.	Acide lithique.
Acide malusien.	Acide malique.
Acide marin.	Acide muriatique.
Acide marin aéré.	Acide muriatique oxigéné.
Acide marin déphlogistiqué.	
Acide méphitique.	Acide carbonique.
Acide nitreux blanc.	Acide nitrique.
Acide nitreux dégasé.	
Acide nitreux déphlogistiqué.	
Acide nitreux fumant.	Acide nitreux.
Acide nitreux phlogistiqué.	
Acide nitreux rutilant.	
Acide oxalin.	Acide oxalique.
Acide perlé.	Phosphate de soude saturé.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Acide phosphorique.	Acide phosphorique.
Acide phosphorique déphlogistiqué.	
Acide phosphorique phlogistiqué.	Acide phosphoreux.
Acide phosphorique volatil.	
Acide régalin.	Acide nitro-muriatique.
Acide saccarin.	Acide oxalique.
Acide sacchlactique.	Acide saccho-lactique.
Acide sébacé.	Acide sébacique.
Acide sédatif.	Acide boracique.
Acide spathique.	Acide fluorique.
Acide sulfureux.	Acide sulfureux.
Acide sulfureux volatil.	
Acide syrupeux.	Acide pyro-mucique.
Acide tartareux.	Acide tartareux.
Acide tungstique.	Acide tunstique.
Acide vitriolique.	Acide sulfurique.
Acide vitriolique phlogistiqué.	Acide sulfureux.
Acidum pingue.	Principe hypothétique de Meyer.
Acier.	Acier.
Air acide vitriolique.	Gas acide sulfureux.
Air alkalin.	Gas ammoniacal.
Air athmosphérique.	Air atmosphérique.
Air déphlogistiqué.	Gas oxigène.
Air du feu de Scheele.	
Air factice.	Gas acide carbonique.
Air fixe.	
Air fixé.	Acide carbonique.
Air gâté.	Gas azotique.
Air inflammable.	Gas hydrogène.
Air inflammable des marais.	Gas hydrogène des marais.
Air marin.	Gas acide muriatique.
Air phlogistiqué.	Gas azotique.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Air puant du soufre.	Gas hydrogène sulfuré.
Air pur.	Gas oxigène.
Air solide de Hales.	Gas acide carbonique.
Air vicié.	Gas azotique.
Air vital.	Gas oxigene.
Airain.	Alliage de cuivre et d'étain.
Alkaest.	Dissolvant universel, dont l'existence a été supposée par les alchimistes.
Alkaest de Respour.	Potasse mêlée d'oxide de zinc.
Alkaest de Vanhelmont.	Carbonate de potasse.
Alkalis caustiques.	Alkalis.
Alkalis en général.	
Alkalis effervescens.	Garbonates alkalins.
Alkali fixe du tartre caustique.	Potasse.
Alkali fixe du tartre non caustique.	Carbonate de potasse.
Alkali fixe minéral aéré.	Carbonate de soude.
Alkali fixe minéral effervescent.	
Alkali fixe végétal.	Carbonate de potasse.
Alkali fixe végétal aéré.	
Alkali fixe végétal caustique.	Potasse.
Alkali marin.	Soude.
Alkali marin caustique.	
Alkali marin non caustique.	Carbonate de soude.
Alkali minéral.	Soude.
Alkali minéral aéré.	Carbonate de soude.
Alkali minéral caustique.	Soude.
Alkali minéral effervescent.	Carbonate de soude.
Alkali phlogistiqué.	Prussiate de potasse ferrugineux non saturé.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Alkali prussien.	Prussiate de potasse ferrugineux.
Alkali végétal.	Potasse.
Alkali végétal aéré.	Carbonate de potasse.
Alkali végétal caustique.	Potasse.
Alkali végétal effervescent.	Carbonate de potasse.
Alkali volatil.	Ammoniaque.
Alkali volatil caustique.	
Alkali volatil concret.	Carbonate ammoniacal.
Alkali volatil effervescent.	
Alkali volatil fluor.	Ammoniaque.
Alkali urineux.	
Alliage des métaux.	Alliage.
Alun.	Sulfate d'alumine.
Alun marin.	Muriate d'alumine.
Alun nitreux.	Nitrite d'alumine.
Amalgame.	Amalgame.
Ambre jaune.	Succin.
Ammoniaque arsenical.	Arseniate d'ammoniaque.
Antimoine crud.	Sulfure d'antimoine.
Antimoine. (mine d')	Sulfure d'antimoine natif.
Aquila alba.	Muriate de mercure doux sublimé.
Arcanum duplicatum.	Sulfate de potasse.
Argent.	Argent.
Argent corné.	Muriate d'argent.
Argile.	Argile, mélange d'alumine et de silice.
Argile crayeuse.	Carbonate d'alumine.
Argile pure.	Alumine.
Argile spathique.	Fluate d'alumine.
Arsenic blanc.	Oxide d'arsenic.
Arsenic. (regule d')	Arsenic.
Arsenic rouge.	Oxide d'arsenic sulfuré rouge.
Azur.	Oxide de cobalt vitreux.

B

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
BAROTE.	Baryte.
Barote effervescente.	Carbonate barytique.
Base de l'air pur. Base de l'air vital.	Oxigène.
Base de l'alun.	Alumine.
Base du sel marin.	Soude.
Baume de soufre.	Sulfure d'huile fixe. Sulfure d'huile volatile.
Benzones.	Benzoates.
Beurre d'antimoine.	Muriate d'antimoine fumant.
Beurre d'arsenic.	Muriate d'arsenic sublimé.
Beurre de bismuth.	Muriate de bismuth sublimé.
Beurre d'étain.	Muriate d'étain sublimé.
Beurre d'étain solide de Baumé.	Muriate d'étain concret.
Beurre de zinc.	Muriate de zinc sublimé,
Bézoard minéral.	Oxide d'antimoine par les acides muriatique et nitrique.
Blanc de fard.	Oxide de bismuth blanc par l'acide nitrique.
Blanc de plomb.	Oxide de plomb blanc par l'acide acéteux.
Bleu de Berlin. Bleu de Prusse.	Prussiate de fer.
Borax.	Borate.
Borax brut. Borax du commerce.	Borate saturé de soude.
Bronze.	Alliage de cuivre et d'étain.

C

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Caméléon minéral.	Oxide de manganèse et potasse.
Camphorites.	Camphorates.
Causticum.	Principe hypothétique de Meyer.
Céruse.	Oxide de plomb blanc par l'acide acéteux.
Chaleur fixée.	Calorique combiné.
Chaleur latente.	
Charbon pur.	Carbone.
Chaux métalliques.	Oxides métalliques.
Chaux d'arsenic.	Oxide d'arsenic.
Chaux de plomb.	Oxide de plomb.
Chaux vive.	Chaux.
Cinnabre.	Oxide de mercure sulfuré rouge.
Cobalt.	Cobalt.
Cobolt.	
Colcothar.	Oxide de fer rouge.
Combinaisons des huiles grasses ou fixes avec différentes bases.	Savons.
Combinaisons des huiles grasses ou fixes avec différens acides.	Savons acides.
Combinaisons des huiles grasses ou fixes avec les substances métalliques.	Savons métalliques.
Combinaisons des huiles volatiles ou essentielles avec différentes bases.	Savonules.
Combinaisons des huiles volatiles ou essentielles avec différens acides.	Savonules acides.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Combinaisons des huiles volatiles ou essentielles avec les substances métalliques.	Savonules métalliques.
Combinaisons du phosphore non oxigéné avec différentes bases.	Phosphures.
Combinaisons du soufre avec les métaux.	Sulfures métalliques.
Couperose blanche.	Sulfate de zinc.
Couperose bleue.	Sulfate de cuivre.
Couperose verte.	Sulfate de fer.
Craie.	Carbonate calcaire.
Craie ammoniacale.	Carbonate ammoniacal.
Craie barotique.	Carbonate barytique.
Craie de plomb.	Carbonate de plomb.
Craie de soude.	Carbonate de soude.
Craie de zinc.	Carbonate de zinc.
Craie martiale.	Carbonate de fer.
Craie magnésienne.	Carbonate de magnésie
Craie ou spath calcaire.	Carbonate calcaire.
Crême de chaux.	Carbonate calcaire.
Crême de tartre.	Tartrite acidule de potasse.
Cristaux de lune.	Nitrate d'argent.
Cristaux de soude.	Carbonate de soude.
Cristaux de tartre.	Tartrite acidule de potasse.
Cristaux de Vénus.	Acétite de cuivre cristallisé.
Crocus metallorum.	Oxide d'antimoine sulfuré demi-vitreux.
Cuivre.	Cuivre.

D

DIANE.	Argent.

E

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Eau aérée.	Acide carbonique.
Eau de chaux.	Chaux dissoute dans l'eau. / Eau de chaux.
Eau-forte.	Acide nitreux du commerce.
Eau-mère du nitre.	Nitrate de chaux.
Eau-mére du sel marin.	Muriate de chaux.
Eau régale.	Acide nitro-muriatique.
Eaux acidulées. / Eaux gaseuses.	Eaux imprégnées d'acide carbonique.
Eaux hépatiques.	Eaux sulfurées. / Eaux sulfureuses.
Eaux-mères.	Résidus salins déliquescens.
Émétique.	Tartrite de potasse antimonié.
Empyrée.	Oxigène.
Encre de sympathie par la litharge.	Acétite de plomb.
Encre de sympathie par le cobalt.	Muriate de cobalt.
Encre de sympathie par l'orpiment et la chaux.	Oxide d'arsenic sulfuré jaune et chaux, dissous dans l'eau.
Esprit acide empyreumatique du bois.	Acide pyro-lignique.
Esprit alkalin volatil.	Gas ammoniacal.
Esprit ardent.	Alcohol.
Esprit de Mendererus.	Acétite ammoniacal.
Esprit de miel, de sucre, etc.	Acide pyro-mucique.
Esprit de nitre.	Acide nitrique étendu d'eau.
Esprit de nitre dulcifié.	Alcohol nitrique.
Esprit de nitre fumant.	Acide nitreux.
Esprit de sel.	Acide muriatique.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Esprit de sel ammoniac.	Ammoniaque.
Esprit de sel fumant.	Acide muriatique.
Esprit de soufre.	Acide sulfureux.
Esprit de tartre.	Acide pyro-tartareux.
Esprit de Vénus.	Acide acétique.
Esprit-de-vin.	Alcohol.
Esprit de vitriol.	Acide sulfurique étendu d'eau.
Esprit recteur.	Arome.
Esprit volatil de sel ammoniac.	Ammoniaque étendu d'eau.
Esprits acides.	Acides étendus d'eau.
Essences.	Huiles volatiles.
Etain.	Étain.
Étain corné.	Muriate d'étain.
Éther acéteux.	Éther acétique.
Ether marin.	Éther muriatique.
Ether nitreux.	Éther nitrique.
Éther vitriolique.	Éther sulfurique.
Ethiops martial.	Oxide de fer noir.
Ethiops minéral.	Oxide de mercure sulfuré noir.
Ethiops per se.	Oxide de mercure noirâtre.
Extrait.	Extractif. (l')

F

FÉCULES des plantes.	Fécules.
Fer	Fer.
Fer aéré.	Carbonate de fer.
Fer d'eau.	Phosphate de fer.
Fleurs ammoniacales cuivreuses.	Muriate de cuivre ammoniacal sublimé.
Fleurs ammoniacales martiales.	Muriate de fer ammoniacal sublimé.
Fleurs argentines de régule d'antimoine.	Oxide d'antimoine sublimé.
Fleurs d'antimoine.	

Noms

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Fleurs d'arsenic.	Oxide d'arsenic blanc sublimé.
Fleurs de benjoin.	Acide benzoïque sublimé.
Fleurs de bismuth.	Oxide de bismuth sublimé.
Fleurs d'étain.	Oxide d'étain sublimé.
Fleurs de soufre.	Soufre sublimé.
Fleurs de zinc.	Oxide de zinc sublimé.
Fleurs métalliques.	Oxides métalliques sublimés.
Fluides aériformes.	Gas.
Fluides élastiques.	
Fluor ammoniacal.	Fluate ammoniacal.
Fluor argileux.	Fluate d'alumine.
Fluor barotique.	Fluate de baryte.
Fluor de potasse.	Fluate de potasse.
Fluor de soude.	Fluate de soude.
Fluor magnésien.	Fluate de magnésie.
Fluor pesant.	Fluate de baryte.
Fluor spathique.	Fluate de chaux.
Fluor tartareux.	Fluate de potasse.
Foie d'antimoine.	Oxide d'antimoine sublimé.
Foie d'arsenic.	Oxide arsenical de potasse.
Foie de soufre alkalin volatil.	Sulfure ammoniacal.
Foie de soufre antimonié.	Sulfure de potasse antimonié. Sulfure de soude antimonié
Foie de soufre à base d'alkali végétal.	Sulfure de potasse.
Foie de soufre à base d'alkali fixe minéral	Sulfure de soude.
Foie de soufre barotique.	Sulfure de baryte.
Foie de soufre calcaire.	Sulfure calcaire, ou de chaux.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Foie de soufre magnésien.	Sulfure de magnésie.
Foies de soufre.	Sulfures.
Foies de soufre alkalins.	Sulfures alkalins.
Foies de soufre calcaires.	Sulfures calcaires.
Foies de soufre terreux.	Sulfures terreux.

G

Gas.	Gas.
Gas acide acéteux.	Gas acide acéteux.
Gas acide crayeux.	Gas acide carbonique.
Gas acide fluorique.	Gas acide fluorique.
Gas acide marin.	Gas acide muriatique.
Gas acide marin déphlogistiqué.	Gas muriatique oxigéné.
Gas acide muriatique.	Gas acide muriatique.
Gas acide muriatique aéré.	Gas muriatique oxigéné.
Gas acide nitreux.	Gas acide nitreux.
Gas acide spathique.	Gas acide fluorique.
Gas acide sulfureux.	Gas acide sulfureux.
Gas acide vitriolique.	Gas acide sulfureux.
Gas alkali volatil.	Gas ammoniacal.
Gas alkalin.	Gas ammoniacal.
Gas atmosphérique.	Gas azotique.
Gas hépathique.	Gas hydrogène sulfuré.
Gas inflammable.	Gas hydrogène.
Gas inflammable carboné.	Gas hydrogène carboné.
Gas inflammable carbonique.	Gas hydrogène carbonique.
Gas inflammable charbonneux.	Gas hydrogène carboné.
Gas inflammable des marais.	Gas hydrogène des marais.
Gas inflammable mofétisé.	Gas hydrogène des marais.
Gas inflammable phosphoré.	Gas hydrogène phosphoré.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Gas inflammable sulfuré.	Gas hydrogène sulfuré.
Gas méphitique.	Gas acide carbonique.
Gas nitreux.	Gas nitreux.
Gas phlogistiqué.	Gas azotique.
Gas phosphorique.	Gas hydrogène phosphoré.
Gas sylvestre.	Gas acide carbonique.
Gilla vitrioli.	Sulfate de zinc.
Glaise.	Argile, mélange d'alumine et de silice.
Gypse.	Sulfate de chaux.

H

HÉPARS.	Sulfures.
Hépars alkalins.	Sulfures alkalins.
Huiles animales.	Huiles volatiles animales.
Huile de chaux.	Muriate calcaire.
Huile de tartre par défaillance.	Potasse mélangée de carbonate de potasse en déliquescence.
Huile de vitriol.	Acide sulfurique.
Huile douce du vin.	Huile éthérée.
Huiles douces.	Huiles fixes.
Huiles empyreumatiques.	Huiles empyreumatiques.
Huiles essentielles.	Huiles volatiles.
Huiles éthérées.	
Huiles grasses.	Huiles fixes.
Huiles par expression.	

I

JUAN blanca.	Platine. (le)
Jupiter.	Étain.

K

KARABÉ.	Succin.
Kermès minéral.	Oxide d'antimoine sulfuré rouge.

L

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Laine philosophique.	Oxide de zinc sublimé.
Lait de chaux.	Chaux délayée dans l'eau.
Laiton.	Alliage de cuivre et de zinc.
Lessives des savonniers.	Dissolution de soude.
Lilium de Paracelse.	Alcohol de potasse.
Liqueur des cailloux.	Potasse silicée en liqueur.
Liqueur fumante de Boyle.	Sulfure ammoniacal.
Liqueur fumante de Libavius.	Muriate d'étain fumant.
Liqueur saturée de la partie colorante du bleu de Prusse.	Prussiate de potasse.
Litharge.	Litharge. Oxide de plomb demi-vitreux.
Lune.	Argent.
Lune cornée.	Muriate d'argent.

M

Magistère de bismuth.	Oxide de bismuth blanc. par l'acide nitrique.
Magistère de plomb.	Oxide de plomb précipité.
Magistère de soufre.	Soufre précipité.
Magnésie aérée de Bergman.	Carbonate de magnésie.
Magnésie blanche.	
Magnésie crayeuse.	
Magnésie effervescente.	
Magnésie fluorée.	Fluate de magnésie.
Magnésie noire.	Oxide de manganèse noir.
Magnésie spathique.	Fluate de magnésie.
Mars.	Fer.
Massicot.	Oxide de plomb jaune.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Matière de la chaleur. Matière du feu.	Calorique.
Matière colorante du bleu de Prusse.	Acide prussique.
Matière perlée de Kerkringius.	Oxide d'antimoine blanc par le nitre.
Méphite ammoniacal.	Carbonate ammoniacal.
Méphite barotique.	Carbonate de baryte.
Méphite calcaire.	Carbonate calcaire.
Méphite de magnésie.	Carbonate de magnésie.
Méphite de plomb.	Carbonate de plomb.
Méphite de potasse.	Carbonate de potasse.
Méphite de soude.	Carbonate de soude.
Méphite de zinc.	Carbonate de zinc.
Méphite martial.	Carbonate de fer.
Mercure.	Mercure.
Mercure des métaux.	Principe hypothétique de Beccher.
Mercure doux.	Muriate de mercure doux.
Mercure précipité blanc.	Muriate de mercure par précipitation.
Minium.	Minium. Oxide de plomb rouge.
Mine d'antimoine.	Sulfure d'antimoine natif.
Mofette atmosphérique.	Gas azotique.
Mucilage.	Muqueux. (le)

N

NATRON. Natrum.	Carbonate de soude.
Neige d'antimoine.	Oxide d'antimoine blanc sublimé.
Nitre.	Nitrate de potasse. Nitre.
Nitre ammoniacal.	Nitrate d'ammoniaque.
Nitre argileux.	Nitrate d'alumine.
Nitre calcaire.	Nitrate de chaux.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Nitre cubique.	Nitrate de soude.
Nitre d'argent.	Nitrate d'argent.
Nitre fixé par lui-même.	Carbonate de potasse.
Nitre lunaire.	Nitrate d'argent.
Nitre quadrangulaire.	Nitrate de soude.
Nitre rhomboïdal.	

O

Ocre.	Oxide de fer jaune.
Or.	Or.
Or fulminant.	Oxide d'or ammoniacal.
Orpiment.	Oxide d'arsenic sulfuré jaune.
Oxigine.	Oxigène.

P.

Petit-lait aigri.	Acide lactique.
Phlogistique.	Principe hypothétique de Stahl.
Phlogistique de Kirvan.	Gas hydrogène.
Phosphore de Baudouin.	Nitrite calcaire sec.
Phosphore de Homberg.	Muriate calcaire sec.
Phosphore de Kunkel.	Phosphore.
Pierre à cautère.	Potasse fondue.
Pierre calcaire.	Carbonate calcaire.
Pierre infernale.	Nitrate d'argent fondu.
Pierre pesante.	Tunstate calcaire.
Platina del pinto.	Platine (le).
Platine. (la)	
Plâtre.	Sulfate calcaire.
Plomb.	Plomb.
Plomb corné.	Muriate de plomb.
Plomb spathique.	Carbonate de plomb.
Plombagine.	Carbure de fer.
Pompholix.	Oxide de zinc sublimé.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Potasse du commerce.	Carbonate de potasse impur.
Potée d'étain.	Oxide d'étain gris.
Poudre d'Algaroth.	Oxide d'antimoine par l'acide muriatique.
Poudre du comte de Palme.	Carbonate de magnésie.
Poudre de Santinelli.	
Pourpre de Cassius.	Oxide d'or par l'étain.
Précipité de Cassius.	
Précipité d'or par l'étain.	
Précipité jaune.	Oxide de mercure jaune par l'acide sulfurique.
Précipité per se.	Oxide de mercure rouge par le feu.
Précipité rose de mercure.	Phosphate de mercure.
Précipité rouge.	Oxide de mercure rouge par l'acide nitrique.
Principe acidifiant.	Oxigène.
Principe astringent.	Acide gallique.
Principe charbonneux.	Carbone.
Principe de la chaleur.	Calorique.
Principe du feu.	
Principe inflammable.	
Principe mercuriel.	Principe hypothétique de Becher.
Principe odorant.	Arome.
Principe sorbile de Ludbock.	Oxigène.
Pyrite de cuivre.	Sulfure de cuivre.
Pyrite martiale.	Sulfure de fer.
Pyrophore de Homberg.	Pyrophore de Homberg. Sulfure d'alumine carboné.

R

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
RÉALGAL. Réalgar.	Oxide d'arsenic sulfuré rouge.
Régule.	Mot employé pour désigner l'état métallique.
Régule d'antimoine.	Antimoine.
Régule d'arsenic.	Arsenic.
Régule de bismuth.	Bismuth.
Régule de cobalt.	Cobalt.
Régule de manganèse.	Manganèse. (le)
Régule de molybdène.	Molybdène. (le)
Régule de nickel.	Nickel.
Régule de sydérite.	Phosphure de fer.
Régule de zinc.	Zinc.
Rouille de cuivre.	Oxide de cuivre vert.
Rouille de fer.	Carbonate de fer.
Rubine d'antimoine.	Oxide d'antimoine sulfuré vitreux brun.

S

SAFRAN de Mars.	Oxide de fer.
Safran de Mars apéritif.	Carbonate de fer.
Safran de Mars astringent.	Oxide de fer brun.
Safran des métaux.	Oxide d'antimoine sulfuré demi-vitreux.
Safre.	Oxide de cobalt gris avec silice. Safre.
Salmiac.	Muriate d'ammoniaque.
Salpêtre.	Nitrate de potasse. Nitre.
Saturne.	Plomb.
Savon de Sterkey.	Savonule de potasse.
Sel acéteux ammoniacal.	Acétite ammoniacal.
Sel acéteux calcaire.	Acétite de chaux.
Sel acéteux d'argile.	Acétite alumineux.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sel acéteux de zinc.	Acétite de zinc.
Sel acéteux magnésien.	Acétite de magnésie.
Sel acéteux martial.	Acétite de fer.
Sel acéteux minéral.	Acétite de soude.
Sel admirable perlé.	Phosphate de soude sursaturé.
Sel alembroth.	Muriate de mercure et d'ammoniaque.
Sel ammoniac.	Muriate d'ammoniaque.
Sel ammoniac fixe.	Muriate de chaux.
Sel ammoniacal crayeux.	Carbonate ammoniacal.
Sel ammoniacal nitreux.	Tartrite d'ammoniaque.
Sel ammoniacal tartareux.	
Sel ammoniacal secret de Glauber.	Sulfate ammoniacal.
Sel ammoniacal sédatif.	Borate ammoniacal.
Sel ammoniacal spathique.	Fluate ammoniacal.
Sel ammoniacal vitriolique.	Sulfate ammoniacal.
Sel cathartique amer.	Sulfate de magnésie.
Sel commun.	Muriate de soude.
Sel d'Angleterre.	Carbonate ammoniacal.
Sel de benjoin.	Acide benzoïque.
Sel de canal.	Sulfate de magnésie.
Sel de colcothar.	Sulfate de fer (peu connu).
Sel de duobus.	Sulfate de potasse.
Sel d'epsum.	Sulfate de magnésie.
Sel de Glauber.	Sulfate de soude.
Sel de Jupiter.	Muriate d'étain.
Sel de lait.	Sucre de lait.
Sel de la sagesse.	Muriate de mercure et d'ammoniaque.
Sel de Saturme.	Acétite de plomb.
Sel de sedlitz.	Sulfate de magnésie.
Sel de segner.	Sebate de potasse.
Sel de seignette.	Tartrite de soude.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sel de seydschutz.	Sulfate de magnésie.
Sel de succin.	Acide succinique crystallisé.
Sel d'oseille du commerce.	Oxalate acidule de potasse.
Sel fébrifuge de Sylvius.	Muriate de potasse.
Sel fixe de tartre.	Carbonate de potasse.
Sel fusible de l'urine.	Phosphate de soude et d'ammoniaque.
Sel gemme.	Muriate de soude fossile.
Sel marin.	Muriate de soude.
Sel marin argileux.	Muriate d'alumine.
Sel marin barotique.	Muriate de baryte.
Sel marin calcaire.	Muriate de chaux.
Sel marin magnésien.	Muriate de magnésie.
Sel natif de l'urine.	Phosphate de soude et d'ammoniaque.
Sel neutre arsenical de Macquer.	Arseniate acidule de potasse.
Sel polychreste de Glaser.	Sulfate de potasse.
Sel polychreste de la Rochelle.	Tartrite de soude.
Sel régalin d'or.	Muriate d'or.
Sel sédatif.	Acide boracique.
Sel sédatif mercuriel.	Borate de mercure.
Sel sédatif sublimé.	Acide boracique sublimé.
Sel sulfureux de Sthal.	Sulfite de potasse.
Sel végétal.	Tartrite de potasse.
Sel volatil d'Angleterre.	Carbonate ammoniacal.
Sel volatil de benjoin.	Acide benzoïque sublimé.
Sel volatil de succin.	Acide succinique.
Sel volatil narcotique de vitriol.	Acide boracique.
Sels arsenicaux.	Arseniates.
Sels formés avec l'eau régale.	Nitro-muriates.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sels formés par la combinaison de l'acide acéteux avec différentes bases.	Acétites.
Sels formés par la combinaison de l'acide acétitique avec différentes bases.	Acétates.
Sels formés par la combinaison de l'acide benzoïques avec différentes bases.	Benzoates.
Sels formés par la combinaison de l'acide bombique avec différentes bases.	Bombiates.
Sels formés par la combinaison de l'acide boracique avec différentes bases.	Borates.
Sels formés par la combinaison de l'acide camphorique avec différentes bases.	Camphorates.
Sels formés par la combinaison de l'acide carbonique avec différentes bases.	Carbonates.
Sels formés par la combinaison de l'acide citrique avec différentes bases.	Citrates.
Sels formés par la combinaison de l'acide fluorique avec différentes bases.	Fluates.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sels formés par la combinaison de l'acide formique avec différentes bases.	Formiates.
Sels formés par la combinaison de l'acide lactique, ou de l'acide du petit-lait aigri, avec différentes bases.	Lactates.
Sels formés par la combinaison de l'acide lithique, ou de l'acide de la pierre de la vessie, avec différentes bases.	Lithiates.
Sels formés par la combinaison de l'acide malique, ou de l'acide des pommes, avec différentes bases.	Malates.
Sels formés par la combinaison de l'acide molybdique avec différentes bases.	Molibdates.
Sels formés par la combinaison de l'acide muriatique avec différentes bases.	Muriates.
Sels formés par la combinaison de l'acide muriatique oxigéné avec la potasse et la soude, découverts par Bertholet.	Muriates oxigénés.
Sels formés par la combinaison de l'acide nitreux avec différentes bases.	Nitrites.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sels formés par la combinaison de l'acide nitrique avec différentes bases	Nitrates.
Sels formés par la combinaison de l'acide oxalique avec différentes bases.	Oxalates.
Sels formés par la combinaison de l'acide phosphoreux avec différentes bases.	Phosphites.
Sels formés par la combinaison de l'acide phosphorique avec différentes bases.	Phosphates.
Sels formés par la combinaison de l'acide prussique, ou matière colorante du bleu de Prusse, avec différentes basee.	Prussiates.
Sels formés par la combinaison de l'acide pyrolignique avec différentes bases.	Pyro-lignites.
Sels formés par la combinaison de l'acide pyromucique avec différentes bases.	Pyro-mucites.
Sels formés par la combinaison de l'acide pyrotartareux avec différentes bases.	Pyro-tartrites.
Sels formés par la combinaison de l'acide saccholactique avec différentes bases.	Saccho-lates.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sels formés par la combinaison de l'acide sébacique, ou de l'acide de la graisse, avec différentes bases.	Sébates.
Sels formés par la combinaison de l'acide succinique avec différentes bases.	Succinates.
Sels formés par la combinaison de l'acide sulfureux avec différentes bases.	Sulfites.
Sels formés par la combinaison de l'acide sulfurique avec différentes bases.	Sulfates.
Sels formés par la combinaison de l'acide tartareux avec différentes bases.	Tartrites.
Sélénite.	Sulfate de chaux.
Smalt.	Oxide de cobalt vitreux.
Soleil.	Or.
Soude aérée.	Carbonate de soude.
Soude caustique.	Soude.
Soude crayeuse.	Carbonate de soude.
Soude effervescente.	
Soude spathique.	Fluate de soude.
Soufre.	Soufre.
Soufre doré d'antimoine.	Oxide d'antimoine sulfuré orangé.
Spath ammoniacal.	Fluate ammoniacal.
Spath calcaire.	Carbonate calcaire.
Spath cubique.	Fluate de chaux.
Spath fluor.	
Spath pesant.	Sulfate de baryte.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Spath phosphorique. Spath vitreux.	Fluate de chaux.
Spiritus Sylvestris.	Gas acide carbonique.
Sublimé corrosif.	Muriate de mercure corrosif.
Sublimé doux.	Muriate de mercure doux.
Suc de citron.	Acide citrique.
Succin.	Succin.
Sucre de Saturne.	Acétite de plomb.
Sydérite.	Phosphate de fer.
Sydérotète de Morveau.	Phosphure de fer.

T.

TARTRE.	Tartrite acidule de potasse.
Tartre ammoniacal.	Tartrite d'ammoniaque.
Tartre antimonié.	Tartrite de potasse antimonié.
Tartre calcaire.	Tartrite de chaux.
Tartre chalybé.	Tartrite de potasse ferrugineux.
Tartre crayeux.	Carbonate de potasse.
Tartre crud.	Tartre.
Tartre de potasse.	Tartrite de potasse.
Tartre de soude.	Tartrite de soude.
Tartre émétique.	Tartrite de potasse antimonié.
Tartre méphitique.	Carbonate de potasse.
Tartre martial soluble.	Tartrite de potasse ferrugineux.
Tartre saturnin.	Tartrite de plomb.
Tartre soluble.	Tartrite de potasse.
Tartre spathique.	Fluate de potasse.
Tartre stibié.	Tartrite de potasse antimonié.
Tartre tartarisé.	Tartrite de potasse.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Tartre tartarisé tenant antimoine.	Tartrite de potasse surcomposé d'antimoine.
Tartre vitriolé.	Sulfate de potasse.
Teinture âcre de potasse.	Alcohol de potasse.
Teintures spiritueuses.	Alcohol résineux.
Terre animale.	Phosphate calcaire ou de chaux.
Terre argileuse.	Argile, mélange d'alumine et de silice.
Terre calcaire.	Chaux.
Terre calcaire aérée.	Carbonate calcaire.
Terre calcaire effervescente.	
Terre de l'alun.	Alumine.
Terre du spath pesant.	Baryte.
Terre foliée crystallisée.	Acétite de soude.
Terre foliée du tartre.	Acétite de potasse.
Terre foliée mercurielle.	Acétite de mercure.
Terre foliée minérale.	Acétite de soude.
Terre glaiseuse.	Argile, mélange d'alumine et de silice.
Terre magnésienne.	Carbonate de magnésie.
Terre muriatique de Kirvan.	Carbonate de magnésie.
Terre pesante.	Baryte,
Terre pesante aérée.	Carbonate de baryte.
Terre siliceuse.	Silice. Terre silicée.
Turbith minéral.	Oxide de mercure jaune par l'acide sulfurique.
Turbith nitreux.	Oxide de mercure jaune par l'acide nitrique.

V.

VÉNUS.	Cuivre.
Verdet.	Acétite de cuivre.
Verdet distillé du commerce.	

Vert-

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Vert-de-gris.	Oxide de cuivre vert.
Verre d'antimoine.	Oxide d'antimoine sulfuré vitreux.
Vif-argent.	Mercure.
Vinaigre de Saturne.	Acétite de plomb.
Vinaigre distillé.	Acide acéteux.
Vinaigre radical.	Acide acétique.
Vitriol ammoniacal.	Sulfate ammoniacal.
Vitriol barotique.	Sulfate de baryte.
Vitriol blanc.	Sulfate de zinc.
Vitriol bleu.	Sulfate de cuivre.
Vitriol calcaire.	Sulfate de chaux.
Vitriol d'antimoine.	Sulfate d'antimoine.
Vitriol d'argent.	Sulfate d'argent.
Vitriol d'argile.	Sulfate d'alumine.
Vitriol d'arsenic.	Sulfate d'arsenic.
Vitriol de bismuth.	Sulfate de bismuth.
Vitriol de chaux.	Sulfate de chaux.
Vitriol de Chypre.	Sulfate de cuivre.
Vitriol de cuivre.	
Vitriol de cobalt.	Sulfate de cobalt.
Vitriol de fer.	Sulfate de fer.
Vitriol de Goslard.	Sulfate de zinc.
Vitriol de lune.	Sulfate d'argent.
Vitriol de manganèse.	Sulfate de manganèse.
Vitriol de Mars.	Sulfate de fer.
Vitriol de mercure.	Sulfate de mercure.
Vitriol de nickel.	Sulfate de nickel.
Vitriol de plomb.	Sulfate de plomb.
Vitriol de potasse.	Sulfate de potasse.
Vitriol de soude.	Sulfate de soude.
Vitriol d'étain.	Sulfate d'étain.
Vitriol de Vénus.	Sulfate de cuivre.
Vitriol de zinc.	Sulfate de zinc.
Vitriol magnésien.	Sulfate de magnésie.
Vitriol martial.	Sulfate de fer.
Vitriol vert.	

W

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Wolfram de Delhuyar.	Tungstène.

Z

Zinc.	Zinc.

FIN DE LA SYNONYMIE ANCIENNE ET NOUVELLE.

SYNONYMIE

NOUVELLE ET ANCIENNE,

PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

A

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
ACÉTATES.	Sels formés par la combinaison de l'acide acétique, ou vinaigre radical, avec différentes bases.
Acétites.	Sels formés par la combinaison de l'acide acéteux, ou vinaigre distillé, avec différentes bases.
Acétite alumineux.	Acète d'argile. Sel acéteux d'argile.
Acétite ammoniacal.	Acète ammoniacal. Esprit de Mendererus. Sel acéteux ammoniacal.
Acétite d'ammoniaque.	Acète ammoniacal.
Acétite d'arsenic.	Liqueur fumante arsenicale de Cadet.
Acétite de chaux.	Acète calcaire. Sel acéteux calcaire.
Acétite de cuivre.	Acète de cuivre. Verdet. Verdet distillé du commerce.
Acétite de cuivre cristallisé.	Cristaux de Vénus.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Acétite de fer.	Acète martial. Sel acéteux martial.
Acétite de magnésie.	Acète de magnésie. Sel acéteux magnésien.
Acétite de mercure.	Acète mercuriel. Terre foliée mercurielle.
Acétite de plomb.	Acète de plomb. Encre de sympathie par la litharge. Sel de Saturne. Sucre de Saturne. Vinaigre de Saturne.
Acétite de potasse.	Acète de potasse. Terre foliée du tartre.
Acétite de soude.	Acète de soude. Sel acéteux minéral. Terre foliée cristallisée. Terre foliée minérale.
Acétite de zinc.	Acète de zinc. Sel acéteux de zinc.
Acide acéteux.	Acide acéteux. Vinaigre distillé.
Acide acétique.	Esprit de Vénus. Vinaigre radical.
Acide arsenique.	Acide arsenical.
Acide benzoïque.	Acide benzonique. Acide de benjoin. Sel de benjoin.
Acide benzoïque sublimé.	Fleurs de benjoin. Sel volatil de benjoin.
Acide bombique.	Acide du ver à soie.
Acide boracique.	Acide boracin. Acide du borax. Acide sédatif. Sel sédatif. Sel volatil narcotique de vitriol.
Acide boracique sublimé.	Sel sétatif sublimé.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Acide carbonique.	Acide aérien. Acide atmosphérique. Acide charbonneux. Acide crayeux. Acide méphitique. Air fixé. Eau aérée.
Acide camphorique.	Acide du camphre.
Acide citrique.	Acide citronien. Suc de citron.
Acide fluorique.	Acide fluorique. Acide spathique.
Acide formique.	Acide des fourmis. Acide formicin.
Acide gallique.	Acide gallique. Principe astringent.
Acide lactique.	Acide galactique. Petit-lait aigri.
Acide lithique.	Acide bézoardique. Acide du calcul. Acide lithiasique.
Acide malique.	Acide des pommes. Acide malusien.
Acide molybdique.	Acide de la molybdène. Acide molybdique.
Acide muriatique.	Acide du sel marin. Acide marin. Esprit de sel. Esprit de sel fumant.
Acide muriatique oxigéné.	Acide marin aéré. Acide marin déphlogistiqué.
Acide nitreux.	Acide nitreux fumant. Acide nitreux phlogistiqué. Acide nitreux rutilant. Esprit de nitre fumant.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Acide nitreux du commerce.	Eau-forte.
Acide nitrique.	Acide nitreux blanc. Acide nitreux dégasé. Acide nitreux déphlogistiqué.
Acide nitrique étendu d'eau.	Esprit de nitre.
Acide nitro-muriatique.	Acide régalin. Eau régale.
Acide oxalique.	Acide de l'oseille. Acide du sucre. Acide oxalin. Acide saccarin.
Acide phosphoreux.	Acide phosphorique phlogistiqué. Acide phosphorique volatil.
Acide phosphorique.	Acide de l'urine. Acide phosphorique. Acide phosphorique déphlogistiqué.
Acide prussique.	Matière colorante du bleu bleu de Prusse.
Acide pyro-ligneique.	Esprit acide empyreumatique du bois.
Acide pyro-mucique.	Acide syrupeux. Esprit de miel, de sucre, etc.
Acide pyro-tartareux.	Esprit de tartre.
Acide saccho-lactique.	Acide du sucre de lait. Acide sacchlactique.
Acide sébacique.	Acide du suif. Acide sébacé.
Acide succinique.	Acide du succin. Acide volatil de succin.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Acide succinique cristallisé.	Sel de succin.
Acide sulfureux.	Acide sulfureux. Acide sulfureux volatil. Acide vitriolique phlogistiqué. Esprit de soufre.
Acide sulfurique.	Acide du soufre. Acide vitriolique. Huile de vitriol.
Acide sulfurique étendu d'eau.	Esprit de vitriol.
Acide tartareux.	Acide du tartre. Acide tartareux.
Acide tunstique.	Acide de la tungstène. Acide tungstique. Acide du wolfram
Acide urique.	Acide bézoardique. Acide du calcul. Acide lithiasique.
Acides étendus d'eau.	Esprits acides.
Acier.	Acier.
Air atmosphérique.	Air atmosphérique.
Alcohol.	Esprit ardent. Esprit-de-vin.
Alcohol de potasse.	Lilium de Paracelse. Teinture âcre de tartre.
Alcohol nitrique.	Esprit de nitre dulcifié.
Alcohol résineux.	Teinture spiritueuse.
Alkalis.	Alkalis caustiques. Alkalis en général.
Alliage.	Alliage de métaux.
Alliage de cuivre et d'étain.	Airain. Bronze.
Alliage de cuivre et de zinc.	Laiton.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Alumine.	Argile pure. Base de l'alun. Terre de l'alun.
Amalgame.	Amalgame.
Ammoniaque.	Alkali volatil. Alkali volatil caustique. Alkali volatil fluor. Alkali urineux.
Ammoniaque étendu d'eau.	Alkali volatil de sel ammoniac.
Antimoine.	Régule d'antimoine.
Argent.	Argent. Diane. Lune.
Argile, mélange d'alumine et de silice.	Argile. Glaise. Terre argileuse. Terre glaise.
Arome.	Esprit recteur. Principe odorant.
Arseniate acidule de potasse.	Sel neutre artificiel de Maquer.
Arseniate d'ammoniaque.	Ammoniac arsenical.
Arseniates.	Sels arsenicaux.
Arsenic.	Régule d'arsenic.

B

BARYTE.	Barote. Terre du spath pesant. Terre pesante.
Benzoates.	Sels formés par la combinaison de l'acide benzoïques avec différentes bases.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Bismuth.	Régule de bismuth.
Bombiates.	Sels formés par la combinaison de l'acide bombique avec différentes bases.
Borates.	Sels formés par la combinaison de l'acide boracique avec différentes bases.
Borate.	Borax.
Borate alumineux.	Borax argileux.
Borate ammoniacal.	Borax ammoniacal. Sel ammoniacal sédatif.
Borate de baryte.	Borax pesant, ou barotique.
Borate de mercure.	Borax mercuriel. Sel sédatif mercuriel.
Borate de potasse.	Borax végétal.
Borate de soude.	Borax saturé d'acide boracique.
Borate saturé de soude.	Borax brut. Borax du commerce. Chrysocolle. Tinckal.
Borate de zinc.	Borax de zinc.

C

Calorique.	Chaleur fixée. Chaleur latente. Matière de la chaleur. Matière du feu. Principe de la chaleur. Principe du feu. Principe inflammable.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Camphorates.	Sels formés par la combinaison de l'acide camphorique avec différentes bases.
Carbonates.	Sels formés par la combinaison de l'acide carbonique avec différentes bases.
Carbonates alkalins.	Alkalis effervescens.
Carbonate ammoniacal.	Alkali volatil concret. Alkali volatil effervescent. Craie ammoniacale. Méphite ammoniacal. Sel ammoniaque crayeux. Sel d'Angleterre. Sel volatil d'Angleterre.
Carbonate calcaire.	Craie. Crême de chaux. Méphite calcaire. Pierre calcaire. Spath calcaire. Terre calcaire aérée. Terre calcaire effervescente.
Carbonate d'alumine.	Argile crayeuse.
Carbonate de baryte.	Borate effervescent. Craie barotique, ou pesante. Méphite barotique. Terre pesante aérée.
Carbonate de fer.	Craie martiale. Fer aéré. Méphite martial. Rouille de fer. Safran de Mars apéritif.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Carbonate de magnésie	Craie magnésienne. Magnésie aérée de Bergman. Magnésie blanche. Magnésie crayeuse. Magnésie effervescente. Méphite de magnésie. Terre magnésienne. Terre muriatique de Kirvan. Poudre du comte de Palme. Poudre de Santinelli.
Carbonate de plomb.	Craie de plomb. Méphite de plomb. Plomb spathique.
Carbonate de potasse.	Alkaest de Vanhelmont. Alkali fixe du tartre non caustique. Alkali fixe végétal. Alkali fixe végétal aéré. Alkali fixe végétal effervescent. Alkali végétal aéré. Méphite de potasse. Nitre fixé par lui-même. Sel fixe de tartre. Tartre crayeux. Tartre méphitique.
Carbonate de potasse impur.	Potasse du commerce.
Carbonate de soude.	Alkali fixe minéral aéré. Alkali fixe minéral effervescent. Alkali marin non caustique. Alkali minéral aéré.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Carbonate de soude.	Alkali minéral effervescent. Base du sel marin. Craie de soude. Cristaux de soude. Méphite de soude. Natron. Natrum. Soude aérée. Soude crayeuse. Soude effervescente.
Carbonate de zinc.	Craie de zinc. Méphite de zinc.
Carbone.	Charbon pur. Principe charbonneux
Carbure de fer.	Plombagine.
Chaux.	Chaux vive. Terre calcaire.
Chaux délayée dans l'eau.	Lait de chaux.
Chaux dissoute dans l'eau.	Eau de chaux.
Citrates.	Sels formés par la combinaison de l'acide citrique avec différentes bases.
Cobalt.	Cobalt. Cobolt. Régule de cobalt.
Cuivre.	Cuivre. Vénus.

D

Dissolution de soude.	Lessive des savonniers.

E

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Eau de chaux.	Eaux de chaux.
Eaux imprégnées d'acide carbonique.	Eaux acidules. Eaux gaseuses.
Eaux sulfurées. Eaux sulfureuses.	Eaux hépatiques.
Étain.	Etain. Jupiter.
Éther.	Éther.
Ether acétique.	Ether acéteux.
Ether muriatique.	Ether marin.
Ether nitrique.	Ether nitreux.
Ether sulfurique.	Ether vitriolique.
Extractif. (l')	Extrait.

F

FÉCULES.	Fécules des plantes.
Fer.	Fer Mars.
Fluates.	Sels formés par la combinaison de l'acide fluorique avec différentes bases.
Fluate ammoniacal.	Ammoniaque spathique. Fluor ammoniacal. Sel ammoniacal spathique. Spath ammoniacal.
Fluate d'alumine.	Argile spathique. Fluor argileux.
Fluate de baryte.	Fluor barotique. Fluor pesant.
Fluate de chaux.	Fluor spathique. Spath cubique. Spath fluor. Spath phosphorique. Spath vitreux.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Fluate de magnésie.	Fluor magnésien. Magnésie fluorée. Magnésie spathique.
Fluate de potasse.	Fluor tartareux. Tartre spathique.
Fluate de soude.	Fluor de soude. Soude spathique.
Formiates.	Sels formés par la combinaison de l'acide formique avec différentes bases.
	G
Gas.	Fluides aériformes. Fluides élastiques. Gas.
Gas acide acéteux.	Gas acide acéteux.
Gas acide carbonique.	Air factice. Air fixe. Air solide de Hales. Gas acide crayeux. Gas méphitique. Gas sylvestre. Spiritus sylvestris.
Gas acide fluorique.	Gas acide fluorique. Gas acide spathique.
Gas acide muriatique.	Air marin. Gas acide marin. Gas acide muriatique.
Gas acide muriatique oxigéné.	Gas acide muriatique aéré. Gas acide marin déphlogistiqué.
Gas acide nitreux.	Gas acide nitreux.
Gas acide sulfureux.	Air acide vitriolique. Gas acide sulfureux. Gas acide vitriolique.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Gas ammoniacal.	Air alkalin. Esprit alkalin volatil. Gas alkali volatil. Gas alkalin.
Gas azotique.	Air gâté. Air phlogistiqué. Air vicié. Gas atmosphérique. Gas phlogistiqué. Mofette atmosphérique.
Gas hydrogène.	Air inflammable. Gas inflammable. Phlogistique de Kirvan.
Gas hydrogène carboné.	Gas inflammable carboné. Gas inflammable charbonneux.
Gas hydrogène carbonique.	Gas inflammable carbonique.
Gas hydrogène des marais.	Air inflammable des marais. Gas inflammable des marais. Gas inflammable mofétisé.
Gas hydrogène phosphoré.	Gas inflammable phosphoré. Gas phosphorique.
Gas hydrogène sulfuré.	Air puant du soufre. Gas hépathique. Gas inflammable sulfuré.
Gas muriatique oxigéné.	Gas acide marin déphlogistiqué. Gas acide muriatique aéré.
Gas nitreux.	Gas nitreux.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Gas oxigène.	Air déphlogistiqué. Air du feu de Scheele. Air pur. Air vital.
Gluten, ou le glutineux.	Gluten de la farine du froment. Matière végéto-animale.

H

HUILE éthérée.	Huile douce du vin.
Huiles empyreumatiques.	Huiles empyreumatiques.
Huiles fixes.	Huiles douces. Huiles grasses. Huiles par expression.
Huiles volatiles.	Essences. Huiles essentielles. Huiles éthérées.
Huiles volatiles animales.	Huiles animales.

L

LACTATES.	Sels formés par la combinaison de l'acide lactique, ou de l'acide du petit-lait aigri, avec différentes bases.
Litharge.	Litharge.
Lithiates.	Sels formés par la combinaison de l'acide lithique, ou de l'acide de la pierre de la vessie, avec différentes bases.

Noms

M

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
MALATES.	Sels formés par la combinaison de l'acide malique, ou de l'acide des pommes, avec différentes bases.
Manganèse. (le)	Régule de manganèse.
Mercure.	Mercure. Vif-argent.
Minium.	Minium.
Molybdates.	Sels formés par la combinaison de l'acide molybdique avec différentes bases.
Molybdène. (le)	Régule de molybdène.
Muqueux. (le)	Mucilage.
Muriates.	Sels formés par la combinaison de l'acide muriatique avec différentes bases.
Muriate calcaire.	Huile de chaux.
Muriate calcaire sec.	Phosphore de Homberg.
Muriate d'alumine.	Alun marin. Sel marin argileux.
Muriate d'ammoniaque.	Salmiac. Sel ammoniac.
Muriate d'antimoine fumant.	Beurre d'antimoine.
Muriate d'argent.	Argent corné. Lune cornée.
Muriate d'arsenic sublimé.	Beurre d'arsenic.
Muriate de baryte.	Sel marin barotique.
Muriate de bismuth sublimé.	Beurre de bismuth.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Muriate de chaux.	Eau-mère du sel marin. Sel ammoniac fixe. Sel marin calcaire.
Muriate de cobalt.	Encre de sympathie par le cobalt.
Muriate de cuivre ammoniacal sublimé.	Fleurs ammoniacales cuivreuses.
Muriate d'étain.	Étain corné. Sel de Jupiter.
Muriate d'étain concret.	Étain corné. Beurre d'étain solide de Baumé.
Muriate d'étain fumant.	Liqueur fumante de Libavius.
Muriate d'étain sublimé.	Beurre d'étain.
Muriate de fer ammoniacal sublimé.	Fleurs ammoniacales martiales.
Muriate de magnésie.	Sel marin à base de magnésie.
Muriate de mercure corrosif.	Sublimé corrosif.
Muriate de mercure doux.	Sublimé doux.
Muriate de mercure doux sublimé.	Aquila alba.
Muriate de mercure et d'ammoniaque.	Sel Alembroth. Sel de la sagesse.
Muriate de mercure par précipitation.	Muriate précipité blanc.
Muriate d'or.	Muriate d'or. Sel régalin d'or.
Muriate de platine.	Muriate de platine. Sel régalin de platine.
Muriate de plomb.	Plomb corné.
Muriate de potasse.	Sel fébrifuge de Sylvius.
Muriate de soude.	Sel commun. Sel marin.
Muriate de soude fossile.	Sel gemme.
Muriate de zinc sublimé.	Beurre de zinc.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Muriates oxigénés.	Sels formés par la combinaison de l'acide muriatique oxigéné avec la potasse et la soude, découverts par Bertholet.

N

NICKEL.	Régule de nickel.
Nitrates.	Sels formés par la combinaison de l'acide nitrique avec différentes bases
Nitrate d'alumine.	Alun nitreux. Nitre argileux.
Nitrate d'ammoniaque.	Nitre ammoniacal. Sel ammoniac nitreux.
Nitrate d'argent.	Cristaux de lune. Nitre d'argent. Nitre lunaire.
Nitrate d'argent fondu.	Pierre infernale.
Nitrate de baryte.	Nitre barotique. Nitre de terre pesante.
Nitrate de chaux.	Eau-mère du nitre. Nitre calcaire.
Nitrate de potasse.	Nitre. Salpêtre. Sel de nitre.
Nitrate de soude.	Nitre cubique. Nitre quadrangulaire. Nitre rhomboïdal.
Nitre.	Nitre. Salpêtre. Sel de nitre.
Nitrites.	Sels formés par la combinaison de l'acide nitreux avec différentes bases.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Nitrite calcaire sec.	Phosphore de Baudouin.
Nitrite d'alumine.	Alun nitreux.
Nitro-muriates.	Sels formés par la combinaison de l'acide nitro-muriatique, avec différentes bases.
	O
Or.	Or. Soleil.
Oxalates.	Sels formés par la combinaison de l'acide oxalique avec différentes bases.
Oxalate acidule de potasse.	Sel d'oseille du commerce.
Oxides métalliques.	Chaux métalliques.
Oxides métalliques sublimés.	Fleurs métalliques.
Oxide arsenical de potasse.	Foie d'arsenic.
Oxide d'antimoine blanc par le nitre.	Antimoine diaphorétique. Céruse d'antimoine. Matière perlée de Kerkringius.
Oxide d'antimoine blanc sublimé.	Fleurs d'antimoine. Fleurs de régule d'antimoine. Neige d'antimoine.
Oxide d'antimoine par l'acide muriatique.	Poudre d'Algaroth.
Oxide d'antimoine par les acides muriatique et nitrique.	Bézoard minéral.
Oxide d'antimoine sulfuré.	Foie d'antimoine.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Oxide d'antimoine sulfuré demi-vitreux.	*Crocus metallorum.* Safran des métaux.
Oxide d'antimoine sulfuré orangé.	Soufre doré d'antimoine.
Oxide d'antimoine sulfuré rouge.	Kermès minéral.
Oxide d'antimoine sulfuré vitreux.	Verre d'antimoine.
Oxide d'antimoine sulfuré vitreux brun.	Rubine d'antimoine.
Oxide d'arsenic.	Arsenic blanc. Chaux d'arsenic.
Oxide d'arsenic blanc.	Arsenic blanc. Chaux d'arsenic.
Oxide d'arsenic blanc sublimé.	Fleurs d'arsenic.
Oxide d'arsenic sulfuré jaune.	Orpiment.
Oxide d'arsenic sulfuré jaune et chaux, dissous dans l'eau.	Encre de sympathie par l'orpiment et la chaux.
Oxide d'arsenic sulfuré rouge.	Arsenic rouge. Réalgal. Réalgar.
Oxide de bismuth blanc, par l'acide nitrique.	Blanc de fard. Magistère de bismuth.
Oxide de bismuth sublimé.	Fleurs de bismuth.
Oxide de cobalt gris avec silice.	Safre.
Oxide de cobalt vitreux.	Azur. Smalt.
Oxide de cuivre vert.	Rouille de cuivre. Vert-de-gris.
Oxide d'étain gris.	Potée d'étain.
Oxide d'étain sublimé.	Fleurs d'étain.
Oxide de fer.	Safran de Mars.
Oxide de fer brun.	Safran de Mars astringent.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Oxide de fer jaune.	Ocre
Oxide de fer noir.	Ethiops martial.
Oxide de fer rouge.	Colcothar.
Oxide de manganèse blanc.	Chaux blanche de manganèse.
Oxide de manganèse noir.	Magnésie noire. Pierre de Périgueux. Savon des verriers.
Oxide de manganèse et potasse.	Caméléon minéral.
Oxide de mercure jaune par l'acide nitrique.	Turbith nitreux.
Oxide de mercure jaune par l'acide sulfurique.	Précipité jaune. Turbith minéral.
Oxide de mercure noirâtre.	Ethiops per se.
Oxide de mercure rouge par l'acide nitrique.	Précipité rouge.
Oxide de mercure rouge par le feu.	Précipité per se.
Oxide de mercure sulfuré noir.	Ethiops minéral.
Oxide de mercure sulfuré rouge.	Cinnabre.
Oxide d'or ammoniacal.	Or fulminant.
Oxide d'or par l'étain.	Pourpre de Cassius. Précipité de Cassius. Précipité d'or par l'étain.
Oxide de plomb.	Chaux de plomb.
Oxide de plomb blanc par l'acide acéteux.	Blanc de plomb.
Oxide de plomb blanc par l'acide acéteux mêlé de craie.	Céruse.
Oxide de plomb demi-vitreux.	Litharge.
Oxide de plomb jaune.	Massicot.
Oxide de plomb rouge.	Minium.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Oxide de plomb précipité.	Magistère de plomb.
Oxide de zinc sublimé.	Fleurs de zinc. Laine philosophique. Coton philosophique. Pompholix.
Oxigène.	Base de l'air pur. Base de l'air vital. Empyrée. Oxigine. Principe acidifiant. Principe sorbile de Ludbock.

P.

PHOSPHATE.	Sels formés par la combinaison de l'acide phosphorique avec différentes bases.
Phosphate calcaire ou de chaux.	Terre animale. Terre des os.
Phosphate de fer.	Fer d'eau. Sydérite. Mine de fer des marais.
Phosphate de mercure.	Précipité rose de mercure.
Phosphate de soude et d'ammoniaque.	Sel fusible de l'urine. Sel natif de l'urine.
Phosphate de soude sursaturé. Phosphate saturé de soude.	Sel admirable perlé.
Phosphites.	Sels formés par la combinaison de l'acide phosphoreux avec différentes bases.
Phosphore.	Phosphore de Kunkel.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Phosphures.	Combinaisons du phosphore non oxigéné avec différentes bases.
Phosphure de fer.	Régule de sydérite. Syderum de Bergman. Syérotète de Morveau.
Platine (le).	Juan blanca. Platina del pinto. Platine. (la)
Plomb.	Plomb. Saturne.
Potasse.	Alkali fixe du tartre caustique. Alkali fixe végétal caustique. Alkali végétal. Alkali végétal caustique.
Potasse fondue.	Pierre à cautère.
Potasse mélangée de carbonate de potasse en déliquescence.	Huile de tartre par défaillance.
Potasse mêlée d'oxide de zinc.	Alkaest de Respour.
Potasse silicée en liqueur.	Liqueur des cailloux.
Principe hypothétique de Beccher.	Mercure des métaux. Principe mercuriel.
Principe hypothétique de Meyer.	Causticum.
Principe hypothétique de Stahl.	Phlogistique.
Prussiates.	Sels formés par la combinaison de l'acide prussique, ou matière colorante du bleu de Prusse, avec différentes bases.
Prussiate de fer.	Bleu de Berlin. Bleu de Prusse.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Prussiate de potasse.	Liqueur saturée de la partie colorante du bleu de Prusse.
Prussiate de potasse ferrugineux non saturé.	Alkali phlogistiqué.
Prussiate de potasse ferrugineux saturé.	Alkali prussien.
Pyro-lignites.	Sels formés par la combinaison de l'acide pyro-ligneux avec différentes bases.
Pyro-mucites.	Sels formés par la combinaison de l'acide pyro-mucique avec différentes bases.
Pyro-tartrites.	Sels formés par la combinaison de l'acide pyro-tartareux avec différentes bases.
Pyrophore de Homberg.	Pyrophore de Homberg.
	S
Sacchо-Lates.	Sels formés par la combinaison de l'acide saccholactique avec différentes bases.
Safre.	Safre.
Savons.	Combinaisons des huiles grasses ou fixes avec différentes bases.
Savons acides.	Combinaisons des huiles grasses ou fixes avec différens acides.
Savons métalliques.	Combinaisons des huiles grasses ou fixes avec les substances métalliques.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Savonules.	Combinaisons des huiles volatiles ou essentielles avec différentes bases.
Savonules acides.	Combinaisons des huiles volatiles ou essentielles avec différens acides.
Savonules métalliques.	Combinaisons des huiles volatiles ou essentielles avec les substances métalliques.
Savonule de potasse.	Savon de Starkey.
Sébates.	Sels formés par la combinaison de l'acide sébacique, ou de l'acide de la graisse, avec différentes bases.
Sébate de potasse.	Sel de Segner.
Silice.	Terre siliceuse.
Soude.	Alkali marin. Alkali marin caustique. Alkali minéral. Alkali minéral caustique. Base du sel marin. Soude caustique.
Soufre.	Soufre.
Soufre précipité.	Magistère de soufre.
Soufre sublimé.	Fleurs de soufre.
Succin.	Ambre jaune. Karabé. Succin.
Succinates.	Sels formés par la combinaison de l'acide succinique avec différentes bases.
Sucre de lait.	Sel de lait.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Sulfates.	Sels formés par la combinaison de l'acide sulfurique avec différentes bases.
Sulfate ammoniacal.	Sel ammoniacal vitriolique. Vitriol ammoniacal.
Sulfate calcaire.	Plâtre.
Sulfate d'alumine.	Alun. Vitriol d'argile.
Sulfate d'antimoine.	Vitriol d'antimoine.
Sulfate d'argent.	Vitriol d'argent. Vitriol de lune.
Sulfate d'arsenic.	Vitriol d'arsenic.
Sulfate de baryte.	Vitriol barotique. Spath pesant.
Sulfate de bismuth.	Vitriol de bismuth.
Sulfate de chaux.	Gypse. Sélénite. Vitriol calcaire. Vitriol de chaux.
Sulfate de cobalt.	Vitriol de cobalt.
Sulfate de cuivre.	Couperose bleue. Vitriol bleu. Vitriol de Chypre. Vitriol de cuivre. Vitriol de Vénus.
Sulfate d'étain.	Vitriol d'étain.
Sulfate de fer (peu connu).	Sel de colcothar.
Sulfate de fer.	Couperose verte. Vitriol de fer. Vitriol de Mars. Vitriol martial. Vitriol vert.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sulfate de magnésie.	Sel cathartique amer. Sel de canal. Sel d'epsum. Sel de sedlitz. Sel de seydschutz. Vitriol magnésien.
Sulfate de manganèse.	Vitriol de manganèse.
Sulfate de mercure.	Vitriol de mercure.
Sulfate de nickel.	Vitriol de nickel.
Sulfate de plomb.	Vitriol de plomb.
Sulfate de potasse.	Arcanum duplicatum. Sel de duobus. Sel polychreste de Glaser. Tartre vitriolé. Vitriol de potasse.
Sulfate de soude.	Sel de Glauber. Vitriol de soude.
Sulfate de zinc.	Couperose blanche. Vitriol blanc. Vitriol de Goslard. Vitriol de zinc. *Gilla vitrioli.*
Sulfites.	Sels formés par la combinaison de l'acide sulfureux avec différentes bases.
Sulfite de potasse.	Sel sulfureux de Sthal.
Sulfures.	Foies de soufre. Hépars.
Sulfures alkalins.	Foies de soufre alkalins. Hépars alkalins.
Sulfure ammoniacal.	Foie de soufre alkalin volatil. Liqueur fumante de Boyle.
Sulfures calcaires.	Foies de soufre calcaire.
Sulfure d'alumine carboné.	Pyrophore de Homberg.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Sulfure d'antimoine.	Antimoine crud.
Sulfure d'antimoine natif.	Mine d'antimoine.
Sulfure d'argent.	Blanckmal.
Sulfure de baryte.	Foie de soufre barytique.
Sulfure de cuivre.	Pyrite de cuivre.
Sulfure de fer.	Pyrite martiale.
Sulfure d'huile fixe. / Sulfure d'huile volatile.	Baume de soufre.
Sulfure de magnésie.	Foie de soufre magnésien.
Sulfure de potasse.	Foie de soufre à base d'alkali végétal.
Sulfure de potasse antimonié.	Foie de soufre antimonié.
Sulfure de soude.	Foie de soufre à base d'alkali fixe minéral.
Sulfure de soude antimonié	Foie de soufre antimonié.
Sulfure de zinc.	Blende ou fausse galène.
Sulfures métalliques.	Combinaisons du soufre avec les métaux.
Sulfures terreux.	Foies de soufre terreux. / Hépars terreux.

T.

TARTRE.	Tartre crud.
Tartrite.	Sels formés par la combinaison de l'acide tartareux avec différentes bases.
Tartrite acidule de potasse.	Crême de tartre. / Cristaux de tartre. / Tartre.
Tartrite d'ammoniaque.	Tartre ammoniacal. / Sel ammoniacal tartareux.
Tartrite de chaux.	Tartre calcaire.
Tartrite de plomb.	Tartre saturnin.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Tartrite de potasse.	Sel végétal. Tartre de potasse. Tartre soluble. Tartre tartarisé.
Tartrite de potasse antimonié.	Emétique. Tartre antimonié. Tartre émétique. Tartre stibié.
Tartrite de potasse ferrugineux.	Tartre chalybé. Tartre martial soluble.
Tartrite de potasse surcomposé d'antimoine.	Tartre tartarisé tenant antimoine.
Tartrite de soude.	Sel de seignette. Sel polychreste de la Rochelle. Tartre de soude.
Terre silicée.	Terre siliceuse.
Tungstène.	Wolfram de Déluyar.
Tunstates.	Sels formés par la combinaison de l'acide tunstique avec différentes bases.
Tunstates calcaires.	Pierre pesante.

Z.

Zinc.	égule de zinc. Rnc.

FIN DE LA SYNONYMIE NOUVELLE ET ANCIENNE.

TABLE DES CHAPITRES.

Les chiffres indiquent les Articles et non les pages.

PRINCIPES DE PHYSIQUE. . . . article 1

CHAPITRE PREMIER.

Des Propriétés générales des corps. 4
Étendue. 6
Divisibilité. 7
Figurabilité. 10
Impénétrabilité. 11
Porosité. 15
Raréfactibilité. 22
Condensabilité. 23
Compressibilité 24
Élasticité. 31
Dilatabilité 39
Mobilité. 40
Inertie. 41

CHAPITRE II.

Du Mouvement et de ses Lois. 46
1. *Force motrice.* 49
Force morte. 50
Force vive. 51
2. *Masse des corps.* 52
3. *Direction des mouvemens.* 53
4. *Espace parcouru.* 54
5. *Temps employé.* 55

6. *Vitesse.* 56
Vitesse uniforme. 57
Vitesse accélérée. 58
Vitesse retardée. 59
Vitesse absolue. 60
Vitesse relative 61
Vitesse respective. 62
7. *Quantité du mouvement.* 63
Mouvement absolu. 65
Mouvement relatif. 66
Mouvement simple. 67
Mouvement composé. 68
Mouvement rectiligne. 69
Mouvement curviligne. 70
Mouvement réfléchi. 71
Mouvement réfracté. 72
Loix du Mouvement. 73
I *Loix du Mouvement simple.* 74
Résistance des Milieux, ou des Fluides. . . 76
Résistance des Frottemens. 96
II *Loix du Mouvement simple.* 111
III *Loix du Mouvement simple.* 112

CHAPITRE III.

Des causes qui changent la direction du Mouvement. 113
Changement de direction occasionné par une matière fluide; ou Réfraction. 114
Changement de direction occasionné par un obstacle impénétrable et fixe; ou Réflexion. . . . 128
Changement de vîtesse et de direction occasionné par un obstacle impénétrable, et qui peut être déplacé; ou Choc des corps. 136

Choc des corps non élastiques. 141
Choc des corps élastiques. 148

CHAPITRE IV.

Des Loix du Mouvement composé. 159
Loi du Mouvement composé. 160
Mouvement composé en ligne droite. . . . 161
Mouvement composé en ligne courbe. . . . 168

CHAPITRE V.

Des Forces centrales. 172

CHAPITRE VI.

De la gravité ou Gravitation des corps. 194

CHAPITRE VII.

De la Pesanteur des corps. 198
Phénomènes où la Pesanteur agit seule sur les corps. 200
Phénomènes où le mouvement est composé de la pesanteur et de quelque autre puissance. . . 228
Chûte des corps par les plans inclinés. . . 231
Mouvement d'Oscillation. 258
Mouvement de Projection. 270

CHAPITRE VIII.

De l'Hydrodynamique. 277
De l'Hydrostatique, ou de la Pesanteur et de l'Équilibre des fluides. 278
Pesanteur et Équilibre d'un fluide seul et homogène. 283
Pesanteur et Équilibre de plusieurs fluides dont les densités sont différentes. 297

Pesanteur et Équilibre des Solides plongés dans les fluides. 315
Phénomènes des Tuyaux capillaires. 343
De l'Hydraulique, ou du Mouvement des fluides. 358
Écoulemens de fluides ou liqueurs par de petits orifices. 359
Écoulemens des fluides ou liqueurs par des tuyaux additionnels. 381
Des Jets d'eau. 398
Des Pompes. 410
Mouvement des eaux dans les tuyaux de conduite. 434
Mouvement oscillatoire de l'eau dans un siphon. 444
Mouvement oscillatoire de l'eau dans les ondes. 447
Mouvement des roues mues par le choc de l'eau. 451
Mouvement des roues mues par le poids de l'eau. 458

CHAPITRE IX.

De la Mécanique statique. 464
Du Levier. 475
De la Poulie. 494
Des Roues. 510
Du Treuil. 523
Du Cabestan. 529
Du Cric. 536
Du Plan incliné. 539
Du Coin. 547
De la Vis. 553

De la Vis sans fin. 559
De la Vis d'Archimède. 567
Des résistances qu'éprouvent les Machines, lorsqu'elles sont prêtes à se mouvoir. 570
De la roideur des cordes. 572

CHAPITRE X.

Des Fluides élastiques. 587
Bases des Fluides élastiques. 610
Composition des Acides, etc. 626
Fluides élastiques vivifians. 642
Air atmosphérique. 643
Air pur ou vital, ou Gas oxigène. 647
Fluides élastiques suffoquans. 671
Gas non-salins. 672
Gas azotique. 673
Gas nitreux. 691
Gas muriatique oxigéné. 717
Gas salins. 734
Gas acide carbonique. 735
Gas acide muriatique. 767
Gas acide sulfurique. 786
Gas acide fluorique. 795
Gas ammoniacal. 804
Gas hydrogènes ou inflammables. 815
Gas hydrogène pur. 832
Gas hydrogène sulfuré. 854
Gas hydrogène phosphoré. 862
Gas hydrogène carboné. 868
Gas hydrogène carbonique. 874
Gas hydrogène des marais. 879
Pesanteurs spécifiques des fluides élastiques. 884

CHAPITRE XI.

Des propriétés de l'Air. 886
L'Air considéré en lui-même. 888
L'Air considéré comme athmosphère terrestre. 953
L'athmosphère considérée comme un fluide en repos. 956
L'athmosphère considérée comme un fluide agité. 991
Du Son. 992
Des Vents. 1030

CHAPITRE XII.

Des propriétés de l'Eau. 1040
L'Eau considérée dans l'état de liqueur. . . 1042
L'Eau considérée dans l'état de vapeur. . . 1062
L'eau considérée dans l'état de glace. 1069

CHAPITRE XIII.

De la nature et des propriétés du Feu. 1099
De la nature du Feu. 1101
Des moyens par lesquels on peut exciter l'action du Feu. 1110
De la manière dont l'action du Feu se propage. 1126
Des effets du Feu sur les corps. 1133
Des moyens d'augmenter ou de diminuer l'action du Feu. 1153
Du refroidissement. 1162

CHAPITRE XIV.

De la nature et des propriétés de la Lumière. . 1173
De la propagation de la Lumière. 1178
Des directions que suit la Lumière dans ses différens mouvemens. 1183

Des principes de l'Optique. 1187
Des principes de la Catoptrique. 1216
Du Miroir plan. 1238
Du Miroir prismatique. 1246
Du Miroir pyramidal. 1247
Du Miroir convexe. 1248
Du Miroir concave. 1252
Du Miroir elliptique. 1265
Du Miroir parabolique. 1266
Du Miroir cylindrique. 1267
Du Miroir conique. 1273
Des principes de la Dioptrique. 1278
Des Lentilles. 1355
Des Verres concaves. 1365
Des Couleurs. 1369
Théorie des Couleurs. 1373
Expériences sur lesquelles est fondée la théorie des Couleurs. 1397
Des Couleurs considérées dans les objets qui nous les font sentir. 1476

CHAPITRE XV.

De la Vision des objets. 1494
De la Vision naturelle. 1498
De la Vision artificielle et des instrumens d'Optique. 1556
Des Lunettes. 1558
Des Polémoscopes. 1562
Des Optiques. 1564
Des Chambres noires. 1566
Des Télescopes dioptriques. 1574
Télescope de Galilée. 1579
Télescope astronomique. 1590

Télescope aérien. 1603
Télescope terrestre, ou Lunette d'approche. 1612
Lunette d'approche de nuit. 1620
Des Télescopes catadioptriques. 1623
Télescope Newtonien. 1627
Télescope Grégorien. 1633
Télescope de Cassegrain. 1638
Télescope de Jacques Le Maire. 1643
Des Lunettes achromatiques. 1647
Des Microscopes. 1658
Microscope simple. 1660
Microscope composé. 1666
Microscope solaire. 1672

CHAPITRE XVI.

De l'Astronomie physique. 1678
Des Phénomènes célestes, selon le système de Copernic. 1711
Des Étoiles. 1712
Du Soleil. 1740
Des Planètes. 1758
Des Planètes primitives. 1780
Des Planètes secondaires. 1857
Des Comètes. 1895
Des Mouvemens, particulièrement de la Terre, du Soleil et de la Lune, et des Phénomenes qui en résultent. 1901
De la Terre. 1902
Des Saisons. 1936
Du Soleil. 1941
De la Lumière zodiacale. 1954
De la division du temps. 1961
De la Lune. 1993
Des Éclipses. 2009

CHAPITRE XVII.

Du Flux et Reflux. 2034
Théorie du Flux et Reflux. 2055

CHAPITRE XVIII.

Du Magnétisme. 2085
Attraction magnétique. 2093
Répulsion magnétique. 2106
Direction magnétique. 2112
Déclinaison magnétique. 2114
Inclinaison magnétique. 2119
Communication de la vertu magnétique. . . . 2123
Méthode de Knigt. 2129
Méthode de Canton. 2130
Méthode de Mitchell. 2135
Méthode de Pierre Le Maire. 2141
Méthode de Duhamel. 2142
Méthode d'Antheaume. 2153
Manière d'aimanter sans aimant. 2157
Méthode de Canton. 2158
Méthode de Mitchell. 2160
Méthode d'Antheaume. 2164
Avantages des Aimans artificiels. 2167
Quelles sont les espèces d'acier qu'il faut préférablement employer pour faire des Aimans artificiels. 2172
De la Boussole. 2182
Des causes des propriétés magnétiques. 2189
Theorie du Magnétisme d'Æpinus. 2199

CHAPITRE XIX.

De l'Électricité. 2219
De la nature de la vertu électrique. 2224

Des moyens de faire naître la vertu électrique. 2239
Des signes par lesquels la vertu électrique se manifeste. 2249
Des principaux instrumens qui servent à produire les phénomènes électriques. 2251
Des Phénomènes électriques. 2275
Théorie de l'Électricité de Dufay. 2307
Théorie de l'Électricité de l'abbé Nollet. . . . 2331
Théorie de l'Électricité de Jallabert. 2372
Théorie de l'Électricité de Francklin. 2400
Théorie de l'Électricité d'Æpinus. 2461
Théorie de l'Électricité d'Euler, publiée en 1761. . . . . . 2508, 2°.
Théorie de l'Électricité de Coulomb, publiée de 1884 à 1789. . . . . . 2508, 3°.
Propositions fondamentales. 2510
Explication des Phénomènes. 2546
Analogie entre les effets du Tonnerre et ceux de de l'Electricité. 2599
Aurores boréales. 2608
Des Trombes. 2612

CHAPITRE XX.

Du Galvanisme. 2622
Apareil de Volta. 2631
Théorie de Volta. 2639
Expériences de Nicholson et Carlisle. 2647
Ressemblances entre l'Électricité et le Galvanisme. 2678
Différences entre l'Électricité et le Galvanisme. 2682

FIN DE LA TABLE DES CHAPITRES.

INSTRUCTION

SUR LES

NOUVEAUX POIDS ET MESURES,

décrétés le 18 germinal de l'an IIIe (7 avril 1795 vieux style);

PAR MATHURIN-JACQUES BRISSON.

D'APRÈS la mesure qui vient d'être prise de l'arc du méridien, compris depuis Dunkerque jusqu'à Barcelone, mesure prise avec les plus grands soins par deux célèbres astronomes (*Méchain* et *Delambre*), et dont tous les triangles et les bases ont été mesurés avec des règles de platine : d'après cette mesure, dis-je, on a pu déterminer, avec toute l'exactitude requise, la distance de l'équateur au pole, ou, ce qui est la même chose, la grandeur du quart du méridien terrestre.

Pour que l'élément des nouvelles mesures pût être avoué par tous les habitans de la terre, que chacun pût dire : *Cette mesure m'appartient*, on a pris cet élément dans la nature ; on a pris pour *mesure élémentaire* une partie décimale de la distance de l'équateur au pole, c'est-à-dire, une partie décimale du quart du méridien terrestre ; et cet *élément* est la dix-

millionième partie de cette distance, qui vaut, en mesures anciennes, 36 pouces 11 lignes 296 millièmes de ligne.

Le mètre est donc l'élément de toutes les mesures ; le *mètre en longueur* est l'élément de toutes les mesures linéaires ; le *mètre quarré* est l'élément de toutes les mesures de superficie ; le *mètre cube* est l'élément de toutes les mesures de capacité. Supposons maintenant un mètre cube d'eau distilée, qui, pesé dans le vide et au *maximum* de sa densité, pèse 2042 livres 14 onces 0 gros 14 grains, poids de marc ; la millionième partie de ce mètre cube d'eau est le GRAMME, lequel est l'élément de tous les poids, c'est le poids du centimètre cube d'eau.

Pour faciliter la connoissance de ces poids et mesures, on trouvera ici, 1°. les noms et valeurs des mesures nouvelles en mesures anciennes ; ainsi que les noms et valeurs des poids nouveaux, exprimés en poids de marc ;

2°. Les valeurs des mesures anciennes, exprimées en mesures nouvelles ;

3°. Je joins à ceci des tables des valeurs des plus petits élémens des mesures anciennes, telles que la ligne, le pouce, le pied, exprimées en mesures nouvelles, et en parties décimales de ces mesures. On pourra multiplier ces valeurs, autant qu'on le voudra, en reculant, vers la droite, la virgule qui sépare les nombres entiers des décimales, d'autant de chiffres

qu'il faudroit ajouter de zéros au chiffre primitif, pour faire la valeur que l'on cherche ;

4°. Je donne de semblables tables des valeurs des plus petits élémens des mesures nouvelles, exprimées en mesures anciennes ;

5°. Je donne aussi de semblables tables des valeurs des élémens pour la division du jour, ainsi que pour la division du cercle ;

6°. Enfin, j'ajoute à tout cela des tableaux des rapports des nouvelles mesures avec le *mètre*, qui est l'unité des mesures usuelles, ainsi que le tableau des rapports des nouveaux poids avec le *gramme*, qui est l'unité des poids usuels.

NOMS ET VALEURS

DES

NOUVELLES MESURES,

exprimées en Mesures anciennes.

MESURES LINÉAIRES.

EXACTEMENT.

	pieds.
Distance de l'Équateur au Pôle, ou Quart du Méridien terrestre.	30784440
Degré décimal.	307844,4.
Myriamètre.	30784,44.
Kiliomètre.	3078,444.
Hectomètre.	307,8444.
Décamètre.	30,78444.
MÈTRE.	3,078444.
	lignes.
Décimètre.	44,3296.
Centimètre.	4,43296.
Millimètre.	0,443296.

MESURES QUARRÉES OU DE SUPERFICIE.

	pieds quarrés.
Myriaré.	9476817,461136.
Kiliare.	947681,746114.
Hectare.	94768,174611.
Décare.	9476.817461.
ARE.	947,681746.
Déciare.	94,768175.
Mètre quarré. } Centiare. . . }	9,476817
	pouces quarrés.
Décimètre quarré.	13,646621.
	lignes quarrées.
Centimètre quarré.	19,651134.
Millimètre quarré	0,196511.

MESURES CUBES OU DE CAPACITÉ.

	pieds cubes.
Myrialitre.	291,738519.
Kiliolitre. Mètre cube.	29,173852.
Hectolitre.	2,917385.
	pouces cubes.
Décalitre.	504,124160.
Litre. . . . . Décimètre cube.	50,412416.
Décilitre.	5,041242.
	lignes cubes.
Centilitre.	871,126926.

MESURES DU BOIS DE CHAUFFAGE.

	pieds cubes.
Stère. . . . Mètre cube.	29,173852.
Décistère.	2,917385.

Pour diminuer la grande différence qu'il y a entre ces mesures de capacité, on peut en employer qui soient et le double et la moitié de chacune d'elles.

POIDS.

	liv.	onc.	gr.	gra.	
Bar. Mètre cube d'eau. . . .	2042	14	0	14.	EXACTEMENT.
Myriagramme.	20	6	6	63,5.	
Kiliogramme.	2	0	5	35,15.	
Hectogramme.		3	2	10,715.	
Décagramme.			2	44,2715.	
Gramme.				18,82715.	
Décigramme.				1,882715.	
Centigramme.				0,1882715.	
Milligramme.				0,01882715.	
Dix-milligramme.				0,001882715.	

On peut faire, relativement aux poids, ce que nous avons dit qu'on peut faire relativement aux mesures. Pour diminuer la grande différence qui se trouve entre ces poids, on peut en employer qui soient et le double et la moitié de chacun d'eux.

Valeurs exactes du MÈTRE, exprimées en Lignes, en Pouces et en Pieds.

Le Mètre.	lignes.	443,296.
	pouces.	36,941333.
	pieds.	3,078444.
Le Mètre quarré. .	lignes quarrées.	196511,343616.
	pouces quarrés.	1364,66208381688g.
	pieds quarrés.	9,476817461136.
Le Mètre cube. . .	lignes cubes.	87112692,579598336
	pouces cubes.	50412,436470753607573037.
	pieds cubes.	29,17385185232935238 4.

Valeurs de la Ligne, du Pouce et du Pied, exprimées en Millimètres.

	millimètres.
La Ligne.	2,255829062296975384 39.
Le Pouce.	27,069948747563704612 68.
Le Pied.	324,83938497076445535216.
	m.mt. q.
La Ligne quarrée.	5,088764758303651249 70.
Le Pouce quarré.	732,782125195725779956 80.
Le Pied quarré.	105520,626028184512313779 20.
	m.mt. c.
La Ligne cube.	11,47938343297402017995.
Le Pouce cube.	19836,374572179106870953 60.
Le Pied cube.	34277255,260725496673007820 80.

Valeurs exactes du Millimètre, exprimées en parties décimales de la Ligne.

Le Millimètre.	lig. 0,443296	EXACTEMENT.
Le Millimètre quarré.	l. q. 0,196511343616.	
Le Millimètre cube.	l. c. 0,087112692579598336.	

Marques caractéristiques des Mesures et poids.

Degré décimal. . .	D. d.	Bar.	Br.
Myriamètre	My.mt.	Myriagramme . . .	My.gm.
Kiliomètre.	K.mt.	Kiliogramme. . . .	K.gm.
Hectomètre	H.mt.	Hectogramme. . . .	H.gm.
Décamètre.	Déc.mt.	Décagramme. . . .	Déc.gm.
Mètre	Mt.	Gramme.	Gm.
Décimètre.	D.mt.	Décigramme. . . .	D.gm.
Centimètre.	C.mt.	Centigramme. . .	C.gm.
Millimètre.	M.mt.	Milligramme. . . .	M.gm.
quarré.	q.	Degré.	D.
cube.	c.	Minute.	′.
Myriare.	My.ar.	Seconde.	″.
Kiliare.	K.ar.	Heure	H.
Hectare.	H.ar.	Minute.	M.
Décare.	Déc.ar.	Seconde	S.
Are.	Ar.	duodécimale. . .	duod.
Déciare.	D.ar.	décimale. . . .	déci.
Centiare.	C.ar.	Pied.	Pi.
Myrialitre.	My.lit.	Pouce	Po.
Kiliolitre.	K.lit.	Ligne	L.
Hectolitre.	H.lit.	quarré.	q.
Décalitre.	Déc.lit.	cube	c.
Litre.	Lit.	Livre.	Liv.
Décilitre.	D.lit.	Once.	On.
Centilitre.	C.lit.	Gros.	Gr.
Stère..	St.	Grain.	gr.
Décistère.	D.st.		

Place qu'occupe chaque Mesure ou Poids dans une suite de chiffres.

MESURES LINÉAIRES

										M.mt.
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Q. du Mér.		D.d.	My.mt.	K.mt.	H.mt.	Déc.mt.	Mt.	D.mt.	C.mt.	M.mt.

MESURES DE SUPERFICIE.

										M.mt. q.
1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1
My.ar.	K.ar.	H.ar.	Déc.ar.	Ar.	D.ar.	Mt.q. C.ar.		D.mt. q.	C.mt. q.	M.mt. q.

MESURES DE CAPACITÉ.

									M.mt. c.
									M.mt. c.
1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
My.lit.	K.lit.	H.lit.	Déc.lit.	Lit.D.mt.c.	D.lit.	C.lit.	C.mt.c.		M.mt.c.

POIDS.

									M.gm.
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Br.		My.gm.	K.gm.	H.gm.	Déc.gm.	Gm.	D.gm.	C.gm.	M.gm.

Table des valeurs de la Ligne, du Pouce et du Pied, exprimées en Mesures nouvelles et en partie décimales de ces Mesures.

lignes.	m.mt.
1.	2,2558290622969753843g.
2.	4,5116581245939507687 8.
3.	6,7674871868909261531 7
4.	9,0233162491879015375 6.
5.	11,2791453114848769219 5.
6.	13,5349743737818523063 4.
7.	15,7908034360788276907 3.
8.	18,0466324983758030751 2.
9.	20,3024615606727784595 1.
10.	22,5582906229697538439 0.
11.	24,8141196852667292282 9.
pouces.	
1.	27,0699487475637046126 8.
2.	54,1398974951274092253 6.
3.	81,2098462426911138380 4.
4.	108,2797949902548184507 2.
5.	135,3497437378185230634 0.
6.	162,4196924853822276760 8.
7.	189,4896412329459322887 6.
8.	216,5595899805096360144.
9.	243,6295387280733415141 2.
10.	270,6994874756370461268 0.
11.	297,7694362320075073948.
pieds.	
1.	324,8393849707644553521 6.
2.	649,6787699415289107043 2.
3.	974,5181549122933660564 8.
4.	1299,3575398830578214086 4.
5.	1624,1969248538222767608 0.
6.	1949,0363098245867321129 6.
7.	2273,8756947953511874651 2.
8.	2598,7150797661156428172 8.
9.	2923,5544647368800981694 4.

Table des valeurs de la Ligne, du Pouce et du Pied quarrés, exprimées en Mesures nouvelles et en parties décimales de ces Mesures.

lignes quarrées.	m.mt.q.
1.	5,088764758303651249700.
2.	10,177529516607302499400.
3.	15,266294274910953749100.
4.	20,355059033214604998800.
5.	25,443823791518256248500.
6.	30,532588549821907498200.
7.	35,621353308125558747900.
8.	40,710118066429209997600.
9.	45,798882824732861247300.

pouces quarrés.	
1.	732,782125195725779956800.
2.	1465,564250391451559913600.
3.	2198,346375587177339870400.
4.	2931,128500782903119827200.
5.	3663,910625978628899784000.
6.	4396,692751174354679740800.
7.	5129,474876370080459697600.
8.	5862,257001565806239654400.
9.	6595,039126761532019611200.

pieds quarrés.	
1.	105520,626028184512313779200.
2.	211041,252056369024627558400.
3.	316561,878084553536941337600.
4.	422082,504112738049255116800.
5.	527603,130140922561568896000.
6.	633123,756169107073882675200.
7.	738644,382197291586196454400.
8.	844165,008225476098510233600.
9.	949685,634253660610824012800.

décimt. quarrés. millimt. quarrés.

Table des valeurs de la Ligne, du Pouce et du Pied cubes, exprimées en Mesures nouvelles et en parties décimales de ces Mesures.

lignes cubes.	m mt. c.
1.	11,479383432974020179 95.
2.	22,958766865948040359 90.
3.	34,438150298922060539 85.
4.	45,917533731896080719 80.
5.	57,396917164870100899 75.
6.	68,876300597844121079 70.
7.	80,355684030818141259 65.
8.	91,835067463792161439 60.
9.	103,31445089676618161955.

pouces cubes.	
1.	19836,374572179106870953 60.
2.	39672,749144358213741907 20.
3.	59509,123716537320612860 80.
4.	79345,498288716427483814 40.
5.	99181,872860895534354768 00.
6.	119018,24743307464122572160.
7.	138854,62200525374809667520.
8.	158690,99657743285496762880.
9.	178527,37114961196183858240.

pieds cubes.	
1.	34277255,260725496673007820 80.
2.	68554510,521450993346015641 60.
3.	102831765,782176490019023462 40.
4.	137109021,042901986692031283 20.
5.	171386276,303627483365039104 00.
6.	205663531,564352980038046924 80.
7.	239940786,825078476711054745 60.
8.	274218042,085803975384062566 40.
9.	308495297,346529470057070387 20.

litres. millimètr. cubes.

Table des valeurs des petits élémens des Mesures nouvelles, exprimées en Mesures anciennes et en parties décimales de ces Mesures.

millimetres.	l.
1.	0,443296.
2.	0,886592.
3.	1,329888.
4.	1,773184.
5.	2,216480.
6.	2,659776.
7.	3,103072.
8.	3,546368.
9.	3,989664.

millimètres quarrés.	l. q.
1.	0,196511343616.
2.	0,393022687232.
3.	0,589534030848.
4.	0,786045374464.
5.	0,982556718080.
6.	1,179068061696.
7.	1,375579405312.
8.	1,572090748928.
9.	1,768602092544.

millimètres cubes.	l. c.
1.	0,087112692579598336.
2.	0,174225385159196672.
3.	0,261338077738795008.
4.	0,348450770318393344.
5.	0,435563462897991680.
6.	0,522676155477590016.
7.	0,609788848057188352.
8.	0,696901540636786688.
9.	0,784014233216385024.

FRAGMENS.

Moyennant les quatre tables précédentes, il n'y a point de mesures, soit anciennes, soit nouvelles, quelque grandes qu'elles soient, dont on ne puisse trouver l'expression des unes par les autres, et cela par une opération très-facile, par une simple addition. Cela va devenir sensible par les exemples suivans.

Ier. EXEMPLE.

On desire exprimer, en nouvelles mesures, la valeur de 4459618 pieds 6 pouces 9 lignes.

Pour avoir la valeur de 4000000 pieds, on prend celle de 4 pieds, en reculant, vers la droite, la virgule de six chiffres, qui est le nombre de zéros qu'il faut ajouter à 4 pour le faire valoir 4 millions; ensuite, pour avoir la valeur de 400000 pieds, on prend encore la valeur de 4, en reculant la virgule de cinq chiffres : et ainsi des autres, comme on le voit ci-dessous.

pieds.	m.mt.
4000000.	129935753,9,883058.
400000.	12993575 3,988306.
50000.	1624196 9,248538.
9000.	2923554,464737.
600.	194903,630982.
10.	3248,393850.
8.	2598,715080.
6po. . . .	162,419692.
9l. . . .	20,302462.
	144865975 1,046705.

m.mt. mt. mmt.

IIe. EXEMPLE.

Si l'on veut exprimer, en mesures nouvelles, la valeur de 957192736 pieds quarrés 135 pouces quarrés 87 lignes quarrées, on procède comme ci-dessus; c'est-à-dire, qu'on prend d'abord la valeur de 9 pieds quarrés, en reculant la virgule de huit chiffres; ensuite la valeur de 5 pieds quarrés en reculant la virgule de sept chiffres; et ainsi du reste, comme on le voit ci-après.

pieds q.	m.mt. q.
900000000.	949685634 25366,061082.
50000000.	5276031301409,225616.
7000000.	738644382197,291586.
100000.	1055206260 2,818451.
90000.	949685634 2,536606.
2000.	21104125 2,056369.
700.	73864438,219729.
30.	3165618,780846.
6.	633123,756169.
100 p^os. q^s.	73278,212520.
30.	2198 3,463756.
5.	3663,910626.
80 l^s. q^s.	407,101181.
7.	35,621353.
	1010035768317 19,055890.

m.mt. q. | m. q. | p. q. | p. mt. q.

Je n'ajoute rien pour les exemples suivans, parce que, dans tous, il faut opérer de la même manière; laquelle est si simple, que ce seroit mal juger de l'intelligence de mes lecteurs, de croire qu'ils aient besoin d'une plus ample explication.

IIIe. EXEMPLE.

On veut exprimer, en mesures nouvelles, la valeur de 153 pieds cubes 1437 pouces cubes 985 lignes cubes.

On prend dans la table des mesures cubes, les valeurs suivantes.

pi. c.	m.mt. c.
100.	3427725526,072550.
50.	1713862763,036275.
3.	102831765,781176.
1000^po. c.	19836374,572179.
400.	7934549,828872.
30.	595091,237165.
7.	138854,622005.
900^l.c.	10331,445090.
80.	918,350675.
5.	57,396917.
	5272936232,342904.
	k.litres. litres. m.mt.c.

IVe. EXEMPLE.

On veut exprimer, en mesures anciennes, la valeur de 103607 millimètres.

On prend dans la table des valeurs des mesures nouvelles, les valeurs suivantes.

m.mt.	l.
100000.	44329,6.
3000.	1329,888.
600.	265,9776.
7.	3,103072.
	45927,968672.

pi. po. l.
ou 318 11 3,968672.

V^e. EXEMPLE.

On veut exprimer, en mesures anciennes, la valeur de 2401390780 millimètres quarrés.

On prend dans la table des valeurs des mesures nouvelles quarrées, les valeurs suivantes.

m.mt. q.	l. q.
2000000000.	393022687,232.
400000000.	78604537,4464.
1000000.	196511,343616.
300000.	58953,493085.
90000.	17686,020925.
700.	137,557941.
80.	15,720907.
	471900528,724874.

	pi. q.	po. q.	l. q.
ou	22750	87	0,724874.

VIe. EXEMPLE.

On veut exprimer, en mesures anciennes, la valeur de 3471465192 millimètres cubes.

On prend dans la table des valeurs des nouvelles mesures cubes, les valeurs suivantes.

m.mt. c.	l. c.
3000000000.	261338077,738795.
400000000.	34845077,031839.
70000000.	6097888,480572.
1000000.	87112,692580.
400000.	34845,077032.
60000.	5226,761555.
5000.	435,563463.
100.	8,711269.
90.	7,840142.
2.	0,174225.
	302408680,071472.

	pi. c.	po. c.	l. c.
ou	101	477	40,071472.

Table

Table des valeurs des Grains, Poids de Marc, exprimées en Milligrammes et en parties décimales de ces Poids.

gr.	m.gm.
1.	53,114785703322064146722.
2.	106,229567406644128293444.
3.	159,344351109966192440166.
4.	212,459134813288256586888.
5.	265,573918516610320733600.
6.	318,688702219932384880320.
7.	371,803485923254449027040.
8.	424,918269626576513173760.
9.	478,033053329898577320480.

Table des valeurs des plus petits Poids décimaux ou Milligrammes, exprimées en Grains, Poids de Marc, et en parties décimales de ces Poids.

m.gm.	gr.	
1.	0,01882715.	EXEMPLE
2.	0,03765430.	
3.	0,05648145.	
4.	0,07530860.	
5.	0,09413575.	
6.	0,11296290.	
7.	0,13179005.	
8.	0,15061720.	
9.	0,16944435.	

Moyennant ces deux tables, il n'y a point de poids, soit anciens, soit nouveaux, quelque grands qu'ils soient, dont on ne puisse trouver l'expression les uns par les autres, par une simple addition, en procédant toujours comme pour les autres mesures.

Ier EXEMPLE

On veut exprimer, en poids décimaux, la valeur de 2567 livres 6 onces 5 gros 43 grains, ou la valeur de 23661331 grains, poids de marc.

On prend, dans la première des deux tables précédentes, les valeurs suivantes :

gr.	m,gm.
20000000.	1062295674,066441.
3000000.	159344351,109966.
600000.	31868870,221993.
60000.	3186887,022199.
1000.	53114,783703.
300.	15934,435111.
30.	1593,443511.
1.	53,114784.
23661331.	1256766477,197708.

Gr. m.gm. m.gm. m.gm.

IIe. EXEMPLE.

On veut exprimer, en poids de marc, la valeur de 234 myriagrammes 7 kiliogrammes 054 grammes 168 milligrammes, ou la valeur de 2347054168 milligrammes.

On prend dans la seconde des deux tables précédentes, les valeurs suivantes :

m.gm.	gr.
2000000000.	376543oo,0000000.
300000000.	5648145,0000000.
40000000.	753086,0000000.
7000000.	131790,0500000.
50000.	941,3575000.
4000.	75,3086000.
100.	1,8827150.
60.	1,1296290.
8.	0,1506172.
2347054168.	44188340,8790612.

liv. on. gr. gra.
ou 4794 11 6 68,8790612.

MONNOIES.

Le franc républicain vaut une livre tournois plus 3 deniers, ou 243 deniers : aussi fait-on valoir la pièce de 5 francs 5 livres tournois 1 sou 3 deniers. Lorsqu'on aura fabriqué les pièces de 2 francs, de 1 franc et de $\frac{1}{2}$ franc, la pièce de 5 francs ne sera éva-

luée que 5 francs, et la distinction ci-dessus n'aura plus lieu dans toute la République; mais il faudra la conserver pour toutes les redevances anciennes, et pour l'échange avec l'étranger. Ainsi 1200 francs républicains vaudront 1215 livres tournois, et ainsi proportionnellement de toutes les autres sommes.

Table des valeurs des Deniers de la Livre tournois, exprimées en Centimes du Franc et en parties décimales de ces Centimes, dans le cas où le Franc est évalué 240 *Deniers ou* 20 *Sous.*

d.	cm.
1.	0,41666666666666667.
2.	0,83333333333333333.
3.	1,25000000000000000.
4.	1,66666666666666667.
5.	2,08333333333333333.
6.	2,50000000000000000.
7.	2,91666666666666667.
8.	3,33333333333333333.
9.	3,75000000000000000.
10.	4,16666666666666667.
11.	4,58333333333333333.
12.	5,00000000000000000.

Table des valeurs des Deniers de la Livre tournois, exprimées en Centimes du Franc et en parties décimales de ces Centimes, dans le cas où le Franc est évalué 243 *Deniers, ou* 20 *Sous* 3 *Deniers.*

d.	cm.
1.	0,41152263374485967.
2.	0,82304526748971933.
3.	1,23456790123456900.
4.	1,64609053497942386 7.
5.	2,05761316872427983 3.
6.	2,46913580246913580 0.
7.	2,88065843621399176 7.
8.	3,29218106995884773 3.
9.	3,70370370370370370 0.
10.	4,11522633744855967.
11.	4,52674897119341563 3.
12.	4,93827160493827160 0.

Table des valeurs des Centimes du Franc, exprimées en Deniers de la Livre tournois et en parties décimales de ces Deniers, dans le cas où le Franc est évalué 240 *Deniers ou* 20 *Sous.*

cm.	d.		s.	d.	
1.	2,4.				EXACTEMENT.
2.	4,8.				
3.	7,2.				
4.	9,6.				
5.	12,0.	ou.	1	0,0.	
6.	14,4.		1	2,4.	
7.	16,8.		1	4,8.	
8.	19,2.		1	7,2.	
9.	21,6.		1	9,6.	
10.	24,0.		2	0,0.	

Table des valeurs des Centimes du Franc, exprimées en Deniers de la Livre tournois et en parties décimales de ces Deniers, dans le cas où le Franc est évalué 243 *Deniers ou* 20 *Sous* 3 *Deniers.*

cm.	d.		s.	d.	
1.	2,43.				EXACTEMENT.
2.	4,86.				
3.	7,29.				
4.	9,72.				
5.	12,15.	ou.	1	0,15.	
6.	14,58.		1	2,58.	
7.	17,01.		1	5,01.	
8.	19,44.		1	7,44.	
9.	21,87.		1	9,87.	
10.	24,30.		2	0,30.	

Moyennant ces quatre Tables, on peut aisément évaluer les deniers de la livre tournois en centimes du franc, et les centimes du franc en deniers de la livre tournois, soit qu'on évalue le franc 240 deniers, soit qu'on l'évalue 243 deniers.

Ier EXEMPLE.

On demande combien 19 deniers valent de centimes, dans le cas où le franc est évalué 240 deniers.

On prend dans la première de ces quatre Tables, les valeurs suivantes.

d.	cm.
10.	4,16666666666666667.
9.	3,75000000000000000.
	7,91666666666666667.

Ces deux valeurs réunies sont la valeur de 19 deniers : on peut se restreiudre à tel nombre de décimales que l'on veut. Si l'on n'en veut que six, cette valeur sera 7,916667 cm.

II e. EXEMPLE.

On veut connoître la valeur de ces 19 deniers, dans le cas où le franc est évalué 243 deniers.

On prend, dans la seconde de ces quatre Tables, les valeurs suivantes :

d.	cm.
10.	4,11522633744855967.
9.	3,70370370370370370.
	7,81893004115226337.

Cette dernière somme est la valeur que l'on cherche.

III e. EXEMPLE.

On demande combien 77 centimes valent de deniers, dans le cas où le franc est évalué 240 deniers.

On prend, dans la troisième de ces quatre Tables, les valeurs suivantes :

cm.	d		s.	d.
70.	168.	ou	14	0,0
7.	16,8.		1	4,8
	184,8.	ou	15	4,8.

IVe. EXEMPLE.

On veut connoître la valeur de ces 77 centimes, dans le cas où le franc est évalué 243 deniers.

On prend, dans la dernière de ces quatre Tables, les valeurs suivantes :

cm.	d.		s.	d.
70.	170,10.	ou.	14	2,10.
7.	17,01.		1	5,01.
	187,11.	ou.	15	7,11.

DIVISION DU JOUR.

Chaque Heure duodécimale est composée de		60 minutes,
	ou de	3600 secondes.
Chaque Jour.	de	24 heures,
	ou de	1440 minutes,
	ou de	86400 secondes.
Chaque Heure décimale est composée. . .	de	100 minutes,
	ou de	10000 secondes.
Chaque Jour décimal, ...	de	10 heures,
	ou de	1000 minutes,
	ou de	100000 secondes.

Table des valeurs des Secondes décimales, exprimées en Secondes duodécimales, pour la division du Jour.

s. déci.	s. duod.	
1.	0,864.	EXACTEMENT.
2.	1,728.	
3.	2,592.	
4.	3,456.	
5.	4,320.	
6.	5,184.	
7.	6,048.	
8.	6,912.	
9.	7,776.	

Table des valeurs des Secondes, Minutes et Heures duodécimales, exprimées en Secondes, Minutes et Heures décimales, pour la division du Jour.

s. duod.	s. déci.
1.	1,157407407407.
2.	2,314814814815.
3.	3,472222222222.
4.	4,629629629630.
5.	5,787037037037.
6.	6,944444444444.
7.	8,101851851852.
8.	9,259259259259.
9.	10,416666666667.
m. duod.	
1.	69,444444444444.
2.	138,888888888889.
3.	208,333333333333.
4.	277,777777777778.
5.	347,222222222222.
6.	416,666666666667.
7.	486,111111111111.
8.	555,555555555556.
9.	625,000000000000.
h. duod.	
1.	4166,666666666667.
2.	8333,333333333333.
3.	12500,000000000000.
4.	16666,666666666667.
5.	20833,333333333333.
6.	25000,000000000000.
7.	29166,666666666667.
8.	33333,333333333333.
9.	37500,000000000000.

h. déci. m. déci. s. déci.

Moyennant ces deux Tables, il n'y a point d'heures, soit de la division duodécimale du jour, soit de la division décimale, dont on ne puisse trouver l'expression, les unes par les autres, en procédant comme ci-dessus.

Ier EXEMPLE.

On veut savoir quelle est l'heure de la division décimale du jour, qui répond à 11 heures 16 minutes 36 secondes du matin, suivant la division duodécimale.

On prend, dans la seconde de ces Tables, les valeurs suivantes :

	s. déci.
10h. duod.	41666,666667.
1.	4166,666667.
10m. duod.	694,444444.
6.	416,666667.
30s. duod.	34,722222.
6.	6,944444.
	46986,111111.

h. déci. m. déci. s. déci.

IIe. EXEMPLE.

Le 6 vendémiaire de l'an III de la République française, on a observé, à Paris, l'émersion du premier satellite de Jupiter, à 15 heures 1 minute 45 secondes. Quelle est l'heure décimale à laquelle a été faite cette observation?

Il faut remarquer que le jour astronomique commence à midi, et finit à midi du jour suivant, au lieu que le jour civil commence à minuit. Les astronomes, comptant les 24 heures de suite, sans distinction des heures du matin d'avec les heures du soir, il est clair que 15 heures du jour astronomique, 6 vendémiaire, répondent à 3 heures du matin du jour civil 7 vendémiaire. La question se réduit donc à savoir quelle est l'heure décimale qui correspond à 3 heures 1 minute 45 secondes du matin; et l'on aura l'heure décimale de l'observation, qui, comme l'on voit, a été réellement faite le 7 vendémiaire.

Pour cela, on prend, dans la seconde des deux précédentes Tables, les valeurs suivantes :

	s. déci.
3h. duod.	12500,000000.
1m. duod.	69,444444.
40s. duod.	46,296296.
5.	5,787037.
	12621,527777.

h. déci. m. déci. s. déci.

IIIe EXEMPLE.

On veut savoir quelle est l'heure duodécimale qui répond à 6 heures 77 minutes 89 secondes, ou a 67789 secondes de la division décimale du jour.

On prend, dans la première des deux précédentes Tables, les valeurs suivantes :

s. déci.	s. duod.
60000.	51840,000.
7000.	6048,000.
700.	604,800.
80.	69,120.
9.	7,776.
	58569,696.

ou 16 h. 16 m. 9,696 s.

Les 16 heures, comme on sait, répondent à 4 heures de l'après-midi.

DIVISION DU CERCLE.

DIVISION ACTUELLE.

Le cercle se divise.	en	360 degrés,
	ou en	21600 minutes,
	ou en	1296000 secondes.
Chaque degré se divise.. . . .	en	60 minutes,
	ou en	3600 secondes.
Chaque minute se divise.	en	60 secondes.

DIVISION DÉCIMALE

Le cercle peut se diviser.	en	400 degrés,
	ou en	40000 minutes,
	ou en	4000000 secondes.
Chaque degré se divisera.	en	100 minutes,
	ou en	10000 secondes.
Chaque minute se divisera.	en	100 secondes.

Table des valeurs des Secondes de la division actuelle du Cercle, exprimées en Secondes de la division décimale, et en parties décimales de ces Mesures.

DIVISION ACTUELLE.	DIVISION DÉCIMALE.
′	′
1.	3,086419753086.
2.	6,172839506172.
3.	9,259259259258.
4.	12,345679012344.
5.	15,432098765430.
6.	18,518518518516.
7.	21,604938271602.
8.	24,691358024688.
9.	27,777777777774.

Table des valeurs des Secondes de la nouvelle division du Cercle, exprimées en Secondes de la division actuelle, et en parties décimales de ces Mesures.

DIVISION DÉCIMALE.	DIVISION ACTUELLE.	
′	′	
1.	0,324.	EXACTEMENT.
2.	0,648.	
3.	0,972.	
4.	1,296.	
5.	1,620.	
6.	1,944.	
7.	2,268.	
8.	2,592.	
9.	2,916.	

Au moyen de ces deux Tables, on pourra aisément exprimer, l'une par l'autre, les divisions du cercle, soit actuelles, soit décimales, en procédant comme ci-dessus.

Ier EXEMPLE.

Dans une observation, on a trouvé un angle de 53 degrés 37 minutes 17 secondes, ou de 193037 secondes de la division actuelle du cercle. Quelle est la mesure de cet angle, exprimée par la division décimale ?

On prend, dans la première de ces deux Tables, les valeurs suivantes :

	′	′
100000.	. . . . .	308641,975309.
90000.	. . . . .	277777,777778.
3000.	. . . . .	9259,259259.
30.	. . . . .	92,592593.
7.	. . . . .	21,604938.
		595793,209877.

IIe EXEMPLE.

On veut exprimer, suivant la division actuelle du cercle, la valeur d'un angle de 190 degrés 74 minutes 95 secondes, ou de 1907495 secondes de la division décimale du cercle.

On prend, dans la seconde de ces deux Tables, les valeurs suivantes :

	′	′
1000000.	. . . . .	324000,00.
900000.	. . . . .	291600,00.
7000.	. . . . .	2268,00.
400.	. . . . .	129,60.
90.	. . . . .	29,16.
5.	. . . . .	1,62.
		618028,38.

ou 171d. 40′ 28″,38.

Tableau des nouvelles mesures, et leurs rapports avec le METRE, *qui sera l'unité des mesures usuelles; et avec le* MILLIMÈTRE, *qui sera la plus petite des Mesures.*

MESURES LINÉAIRES.

NOMS DES MESURES.	RAPPORTS AVEC LE MÈTRE.	RAPPORTS AVEC LE MILLIMÈTRE.
	mt.	m.mt.
Quart du Méridien	10000000.	10000000000.
Degré décimal.	100000.	100000000.
Myriamètre.	10000.	10000000.
Kiliometre.	1000.	1000000.
Hectomètre	100.	100000.
Décamètre.	10.	10000.
MÈTRE.	1.	1000.
Décimètre.	0,1.	100.
Centimètre.	0,01.	10.
Millimètre.	0,001.	1.

MESURES DE SUPERFICIE.

	mt. q.	m.mt. q.
Myriare.	1000000.	1000000000000.
Kiliare.	100000.	100000000000.
Hectare.	10000.	10000000000.
Décare.	1000.	1000000000.
Are.	100.	100000000.
Déciare.	10.	10000000.
Centiare. / Mètre quarré.	1.	1000000.
Décimètre quarré.	0,01.	10000.
Centimètre quarré.	0,0001.	100.
Millimètre quarré.	0,000001.	1.

MESURES DE CAPACITÉ.

NOMS DES MESURES.	RAPPORTS AVEC LE MÈTRE.	RAPPORTS AVEC LE MILLIMÈTRE.
	mt. c.	m.mt. c.
Myrialitre.	10.	10000000000.
Kiliolitre. . . . . } Mètre cube. . . . . }	1.	1000000000.
Hectolitre.	0,1.	100000000.
Décalitre.	0,01.	10000000.
Litre. . . . . } Décimètre cube. . . }	0,001.	1000000.
Décilitre.	0,0001.	100000.
Centilitre.	0,00001.	10000.
Centimètre cube. . . .	0,000001. . . .	1000.
Millimètre cube. . . .	0,000000001. . .	1.

Tableau des Poids décimaux, et leurs rapports avec le GRAMME, *qui est l'unité des Poids usuels; et avec le* MILLIGRAMME, *qui est le plus petit des Poids.*

NOMS DES POIDS.	RAPPORTS AVEC LE GRAMME.	RAPPORTS AVEC LE MILLIGRAMME.
	gm.	m.gm.
Bar.	1000000.	1000000000.
Myriagramme. . . .	10000.	10000000.
Kiliogramme. . . .	1000.	1000000.
Hectogramme. . . .	100.	100000.
Décagramme.	10.	10000.
GRAMME.	1.	1000.
Décigramme.	0,1.	100.
Centigramme. . . .	0,01.	10.
Milligramme. . . .	0,001.	1.

Il arrive souvent, en physique, qu'il est intéressant de connoître avec exactitude le poids de l'air et de l'eau distillée. C'est pourquoi je joins ici les poids de ces deux fluides, sous différens

volumes, et à différentes températures ; ces poids étant exprimés, soit en poids de marc, soit en poids décimaux, il sera aisé de multiplier ou de diviser ces volumes autant qu'on voudra, et d'avoir ainsi les poids de tels volumes que l'on désirera.

Poids de l'Air et de l'Eau distillée, sous différens volumes et à différentes températures.

POIDS DE L'AIR.

	Poids décimaux.			*Poids de Marc.*			
	k gm.	gm.	m.gm.	liv.	on.	gr.	grn.
Le Mètre cube.	1	231	902,4568.	2	8	2	9,2123.
Le décimètre cube. . .		1	231,9025.				23,1932.
Le Pied cube.		42	226,2530.		1	3	3,0000.
Le Pouce cube.			24,4365.				0,4543.

POIDS DE L'EAU DISTILLÉE.

L'eau a été pesée en neuf cas différens :

1°. Étant amenée au *maximum* de sa densité, et dans le vide.

2°. A la température de la glace fondante, et dans le vide.

3°. A la température de 5 degrés du thermomètre de mercure, divisé en 80, depuis la température de la glace jusqu'à celle de l'eau bouillante, qui répondent à 3,9 $^{d.}$ du thermomètre de *Réaumur*, et à 6,25 $^{d.}$ du thermomètre centigrade et dans le vide.

4°. L'eau étant amenée au *maximum* de sa densité, et dans l'air.

5°. A la température de la glace fondante, et dans l'air.

6°. A la même température que dans le troisième cas, mais dans l'air.

7°. A la température de 10 degrés du thermomètre de mercure, qui répondent à 10,4 $^{d.}$ du thermomètre de *Réaumur*, et à 12,25 $^{d.}$ du thermomètre centigrade, et dans l'air.

8°. A la température de 15 degrés du thermomètre de mercure, qui répondent à 15,7 $^{d.}$ du thermomètre de *Réaumur*, et à 18,75 $^{d.}$ du thermomètre centigrade, et dans l'air.

9°. Enfin à la température de 20 degrés du thermomètre de mercure, qui répondent à 21,1 d. du thermomètre de *Réaumur*, et à 25 degrés du thermomètre centigrade, et dans l'air.

Le mètre cube d'eau.

	Poids décimaux.			*Poids de Marc.*			
	k.gm.	g.m.	m.gm.	liv.	on.	gr.	grs.
1er cas.	1000	000	000.	2042	14	0	14.
2e.	999	872	471.	2042	9	6	61.
3e.	999	915	866.	2042	11	2	14.
4e.	998	767	631.	2040	5	5	68.
5e.	998	640	580.	2040	1	4	52.
6e.	998	683	922.	2040	3	0	4.
7e.	998	064	125.	2038	14	5	71.
8e.	997	445	869.	2037	10	4	23.
9e.	996	703	590.	2036	2	2	16.

Le décimètre cube.

1er cas.	1	000	000.	2	0	5	35,150.
2e.		999	872,471.	2	0	5	32,749.
3e.		999	915,866.	2	0	5	33,566.
4e.		998	767,631.	2	0	5	11,948.
5e.		998	640,581.	2	0	5	9,556.
6e.		998	683,922.	2	0	5	10,372.
7e.		998	064,125.	2	0	4	70,703.
8e.		997	445,869.	2	0	4	59,063.
9e.		996	703,590.	2	0	4	45,088.

Le pied cube.

1er cas.	34	277	254.	70	0	3	7.
2e.	34	272	898.	70	0	1	69.
3e.	34	274	386.	70	0	2	25.
4e.	34	235	028.	69	15	0	4.
5e.	34	230	672.	69	14	6	66.
6e.	34	232	159.	69	14	7	22.
7e.	34	210	913.	69	14	1	54.
8e.	34	189	721.	69	13	4	15.
9e.	34	164	273.	69	12	5	40.

Le Pouce cube.

	Poids décimaux.			*Poids de Marc.*			
	k.gm.	g.m.	m.gm.	liv.	on.	gr.	gra.
1er cas.	0	19	836,374.	0	0	5	13,462.
2e.		19	833,853.			5	13,415.
3e.		19	834,135.			5	13,431.
4e.		19	811,938.			5	13,002.
5e.		19	809,416.			5	12,955.
6e.		19	810,277.			5	12,971.
7e.		19	797,982.			5	12,740.
8e.		19	785,718.			5	12,509.
9e.		19	770,991.			5	12,231.

La Ligne cube.

1er cas.	11,47938.	0,216124.
2e.	11,47792.	0,216097.
3e.	11,47809.	0,216106.
4e.	11,46524.	0,215858.
5e.	11,46378.	0,215830.
6e.	11,46428.	0,215840.
7e.	11,45717.	0,215706.
8e.	11,45007.	0,215572.
9e.	11,44155.	0,215411.

CERTIFICAT des Membres de la Commission des Poids et Mesures.

Nous, soussignés, Membres de la Commission des Poids et Mesures, certifions que la présente Instruction sur les nouveaux Poids et Mesures est exactement fondée sur les résultats obtenus et arrêtés par ladite Commission. A Paris, ce 6 messidor de l'an 7; et ont signé :

VAN SWINDEN, AENEAE, *Députés de la République Batave;* FABBRONI, *député de Toscane;* MASCHERONI, *député de la République Cisalpine;* TRALLES, *député de la République Helvétique;* VASSALI, *député du Gouvernement Piémontois;* CISCAR, PEDRAYES, *envoyés par le roi d'Espagne;* MULTEDO, *député de la République Ligurienne;* LAPLACE, LAGRANGE, LEFEVRE-GINEAU, COULOMB, MÉCHAIN, DELAMBRE, HAÜY, D'ARCET, PRONY, *Membres de l'Institut national des Sciences et des Arts.*

FIN DE L'INSTRUCTION.

TRAITE

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE PHYSIQUE.

1. La physique est, de toutes les sciences, la plus étendue; elle a pour objet tous les corps de la nature. On ne pourroit tout au plus lui comparer, à cet égard, que l'histoire naturelle : encore l'objet de cette dernière n'est-il pas aussi général; car elle ne traite que des substances terrestres; et le domaine de la physique n'est pas restreint à la terre, il s'étend jusque dans les cieux.

2. L'objet de la physique, et principalement de la physique expérimentale, qui est celle dont nous traitons, est de connoître les problèmes de la nature, et d'en montrer les causes par des preuves de fait. C'est par les faits que nous acquérons la connoissance des phénomènes, et d'autres faits nous en démontrent les causes.

3. Il y a cependant un certain nombre de faits dont nous ignorons complètement la cause; car nous ne savons pas tout, à beaucoup près. Ceux de ces faits qui sont toujours uniformes, toujours constans, sont ce que les physiciens appellent *propriétés*; et ils

en font usage pour rendre raison d'un grand nombre de phénomènes. Nous ne connoissons pas toutes les propriétés des corps : une preuve de cela, c'est que nous en découvrons de temps en temps de nouvelles. Et qui est-ce qui peut assurer avoir découvert la dernière? Parmi celles qui sont connues, les unes appartiennent à tous les corps indistinctement; les autres n'appartiennent qu'à certains corps, exclusivement à d'autres. Les premières s'appellent *propriétés générales*; telles sont l'*étendue*, la *divisibilité*, la *figurabilité*, l'*impénétrabilité*, la *porosité*, la *raréfactibilité*, la *condensabilité*, la *compressibilité*, l'*élasticité*, la *dilatabilité*, la *mobilité* et l'*inertie*. On nomme les secondes *propriétés particulières*; telles sont la *malléabilité*, la *fluidité*, la *liquidité*, etc.

Nous allons traiter d'abord des propriétés générales; nous traiterons ensuite des particulières.

CHAPITRE PREMIER.

Des propriétés générales des Corps.

4. On appelle *corps* toutes les substances matérielles dont l'assemblage compose l'univers, et qui se font sentir à nous par le moyen de quelques-uns de nos sens.

5. On ne peut connoître les propriétés des corps que par l'expérience; nous devons donc regarder comme des propriétés générales, celles qui se trouvent dans tous les corps, et que nos sens nous y font appercevoir.

Etendue.

6. Ce qui se présente le premier à nos sens ou même à nos idées lorsque nous examinons ou que nous concevons un corps, c'est son *étendue*, c'est-à-dire, une grandeur déterminée, dans laquelle nous concevons toujours une agrégation de parties. Cette étendue a toujours trois dimensions, *longueur*, *largeur* et *profondeur* ou *épaisseur*, que les géomètres considèrent souvent et mesurent séparément l'une de l'autre, mais que les physiciens ne séparent jamais; car ils regardent toujours les choses telles qu'elles sont. Or chaque corps, quelque petit qu'il soit, a toujours un dessus et un dessous, une partie antérieure et une partie postérieure, un côté droit et un côté gauche; toutes ces choses prises ensemble forment nécessairement une longueur, une largeur et une épaisseur. Chaque corps ayant ces trois dimensions, est donc nécessairement *étendu*. Il est vrai que nous ne voyons pas ces trois dimensions dans tous les corps; il y en a de si petits, que nos yeux ne peuvent les appercevoir, ni nos doigts les distinguer; mais, comme dans tous les corps qui tombent sous nos sens, nous appercevons cette étendue, nous pouvons affirmer qu'elle appartient à tous les corps en général

Divisibilité.

7. Nous ne pouvons pas avoir l'idée d'un corps, sans concevoir une agrégation de parties (6); nous regardons donc tous les corps comme composés de parties. Il est aisé de concevoir que ces parties, ainsi

réunies pour former un corps, peuvent être séparées les unes des autres; cela étant ainsi, tous les corps sont divisibles. La *divisibilité* est donc une propriété générale des corps; et il n'y a de réellement indivisible que les atomes, en cas qu'ils existent. Cette divisibilité est prouvée relativement aux corps d'une grandeur sensible; personne n'ignore qu'un tel corps peut être partagé en deux, en quatre, en six, en dix, en mille, etc. Mais jusqu'où va cette divisibilité? Lorsqu'on a poussé la division jusqu'à un certain point, les corps cessent-ils d'être divisibles, ou le sont-ils à l'infini? C'est une question qui a occupé les physiciens beaucoup plus qu'elle ne le mérite. Il est sûr que la division des corps peut être portée fort loin, et plus loin même que l'imagination n'eût pu le faire croire, si elle n'avoit été aidée par les faits. Aussi n'y a-t-il que cette divisibilité en parties extrêmement tenues, qui puisse être prouvée par l'expérience.

EXPÉRIENCE. Que l'on divise un morceau de bois au point de le réduire en poussière impalbable; chacune de ces molécules de bois, toute petite qu'elle est, est encore très-divisible; car elle est encore bois, et par conséquent un être composé de principes très-différens les uns des autres, tels que d'eau, de terre, de parties huileuses, salines, etc. qu'on peut séparer par la combustion, et dont les uns se dissipent sous la forme de flamme, et d'autres sous celle de fumée, tandis que d'autres demeurent fixes et forment de la cendre, du sel, etc. Quelle division ne faut-il pas pour cela?

EXPÉRIENCE. Si vous faites dissoudre quelques milligrammes de cuivre dans un peu d'acide nitreux, et que vous étendiez cette dissolution d'une assez grande

quantité d'eau, toute la liqueur en sera sensiblement teinte. Quelle extrême division ne faut-il pas encore pour cela? Car pour que la couleur soit sensible, il doit y en avoir plusieurs particules en chaque goutte d'eau. Cependant chacune de ces particules est encore divisible; car elle est encore du cuivre, que l'on peut recueillir en faisant évaporer le dissolvant : elle est donc un être encore composé de principes très-différens les uns des autres.

EXPÉRIENCE. Si vous vous promenez dans un jardin garni de fleurs et d'arbres odorans, tels que des orangers, des rosiers, des tubéreuses, etc. l'air est tellement parfumé de l'odeur de ces fleurs, qu'on la sent par-tout. Jusqu'à quel degré de ténuité ne doivent pas être réduites ces petites particules odorantes, et jusqu'à quel point ne doit pas être portée leur division, pour être distribuées dans un aussi grand espace, elles qui en occupoient un si petit dans la fleur qui les a fournies? Cependant elles sont encore divisibles; car il est probable que la manière dont chacune affecte notre organe, et qui la fait si bien distinguer des autres, dépend de la différente combinaison des principes qui la constituent telle.

Qu'est-ce qui rend les eaux de rivières troubles dans les temps des grandes pluies, si ce ne sont les terres que les eaux des pluies y entraînent, et qui y sont prodigieusement divisées? Les sources minérales ne sont telles, que parce qu'elles tiennent différentes substances en dissolution. Ces dissolutions ne décomposent point les corps; on les retrouve souvent tels qu'ils étoient avant d'être dissous, en faisant évaporer le dissolvant : c'est ainsi qu'on retire, des eaux qui les contiennent, les sels, le salpêtre, etc. Les

infusions sont des dissolutions lentes : telles sont celles par le moyen desquelles on extrait les teintures des bois. Ces dissolutions et infusions ne font que rendre les parties propres à certains usages, comme les métaux très-divisés qu'on emploie en pharmacie.

8. On pourroit citer encore beaucoup d'exemples qui prouvent tous que la matière est divisible en parties encore plus tenues que tout ce que nous pouvons nous imaginer de plus délié; tels sont les arts du batteur d'or, du fileur d'or, du teinturier, etc. Le batteur d'or est celui qui réduit l'or en feuilles minces, telles que celles dont nous faisons usage pour nos dorures. Le degré d'amincissement de ces feuilles est tel, que, suivant les observations de *Réaumur*, il en faudroit environ trente mille les unes sur les autres pour faire l'épaisseur d'une ligne; et, selon *Boyle* (*de Mirâ Subtilitate Effluviorum, cap. 2*), 50 pouces quarrés (56639 millimètres quarrés) de ces feuilles ne pèsent qu'un grain (53 milligrammes). Mais un pouce peut être divisé en 200; chaque pouce quarré fournira donc 200 petites bandes, et chaque bande 200 petits quarrés, dont chacun s'apperçoit aisément à l'œil, et est par conséquent encore très-divisible. Chaque pouce quarré donnera donc 40000 parties visibles, qui, multipliées par 50, nombre de pouces quarrés que peut fournir un grain d'or, donnent 2000000. L'art du fileur d'or offre encore un résultat plus surprenant; il a été bien observé par *Réaumur* (*Mémoires de l'Académie des Sciences*, année 1713, page 204 *et suiv.*). Le fileur d'or est celui qui prépare le fil d'argent doré dont on se sert pour fabriquer les étoffes, les galons, la broderie, etc. Avec une quantité de feuilles d'or, qui n'excède jamais le poids de

six onces, et qu'on diminue quelquefois presque jusqu'à une, on couvre un cylindre d'argent d'environ 22 pouces (596 millimètres) de longueur, 15 lignes (34 millimètres) de diamètre, et du poids de 45 marcs (11014 grammes). On fait passer ce rouleau doré successivement par les trous d'une lame d'acier, qui vont en décroissant, de façon qu'en s'allongeant aux dépens de son diamètre, il devient aussi délié qu'un cheveu, et d'une longueur qui égale celle de 193920 toises (377957 mètres), ou de plus de 85 lieues de 25 au degré. Pendant cette opération, l'or s'étend sur le fil d'argent, de façon que l'argent ne demeure découvert nulle part. On passe ensuite ce fil doré entre deux rouleaux d'acier poli, pour en former une lame, ce qui l'alonge d'un septième; et cette lame se trouve dorée dessus et dessous. Cela fournit donc deux lames d'or de chacune 97 lieues de long. En combien de parties ne pourroit-on pas diviser une pareille longueur? Mais la couche d'or, en s'étendant, s'amincit au point que, selon *Réaumur*, elle n'a plus que la 525000e partie d'une ligne d'épaisseur. Doit-on être étonné, d'après cela, que le frottement fasse si promptement de nos galon d'or des galons d'argent? L'art du teinturier ne prouve pas moins la prodigieuse divisibilité de la matière. Il ne faut qu'une petite quantité de matière colorante pour teindre une pièce de drap. Supposons qu'on mette bout à bout tous les brins de laine qui composent cette pièce : quelle prodigieuse longueur cela ne donneroit-il pas? Combien de fois y pourroit-on passer le ciseau? Chaque partie détachée seroit un petit cercle coloré dans toute sa circonférence, et qui pourroit se diviser au moins en 360 parties,

comme le font les géomètres. L'imagination se refuse presque à de pareils nombres.

9. Mais quand nous avons poussé aussi loin que nous le pouvons la division des corps, et que les moyens de la pousser plus loin nous manquent, que devons-nous penser du reste? La matière est-elle enfin divisible à l'infini, ou non? c'est une question à laquelle il est difficile de répondre, mais qui heureusement nous importe peu. Quant à nous, nous croyons devoir regarder la matière en elle-même comme divisible à l'infini, ou du moins à l'indéfini; c'est-à-dire, que nous ne connoissons point de terme de division après lequel on puisse regarder chaque molécule de la matière, ainsi divisée, comme indivisible en elle-même; quoique nous manquions d'agens pour entamer ces petites masses; car chacune de ces molécules est une agrégation de parties (6); chacune contient deux moitiés réunies, que l'on conçoit pouvoir être séparées, après laquelle séparation on en pourroit dire autant de chacune de ces moitiés, et ainsi de suite à l'infini. Voici donc à quoi peut se réduire la question. La divisibilité idéale, celle que l'on peut concevoir, n'a point de bornes; la divisibilité physique, possible à l'infini ou non, est une affaire de système, est une question qui ne pourra jamais être décidée, parce qu'il y aura toujours un terme après lequel nous manquerons de moyens. Enfin la divisibilité portée jusqu'à un point extrême, et en parties encore plus tenues que tout ce que nous pouvons nous imaginer de plus délié, est la seule certaine, la seule que l'expérience peut prouver.

Figurabilité.

10. On entend par ce mot *figurabilité*, la propriété qu'ont tous les corps d'avoir toujours une figure quelconque. En effet, il est aisé de concevoir qu'aucun corps ne peut exister sans être figuré; car chaque corps, grand ou petit, est composé d'une certaine quantité de matière, que l'on appelle sa *masse :* cette masse occupe plus ou moins d'espace; c'est ce qu'on appelle son *volume :* ce volume ne peut pas n'être pas terminé par des surfaces; ces surfaces ont nécessairement entr'elles un certain arrangement, un certain ordre. C'est cet ordre ou cet arrangement que prennent entr'elles les surfaces qui terminent les volumes des corps, qu'on appelle *figure.*

Comme il n'y a point de corps qui ne soit terminé par des surfaces, que ces surfaces ne se confondent point, et qu'elles se distinguent toujours les unes des autres, au moins par des situations relatives, il est évident qu'il n'y a point de corps qui n'ait une figure quelconque. Il n'en faut pas même excepter ceux dont la petitesse est cause que leur figure échappe à nos yeux; si nos sens étoient plus délicats, ou que nous les aidassions d'un micoscrope, nous distinguerions les surfaces de ces petits corps, et par conséquent leur figure. Être figuré est donc une qualité qui accompagne les corps dans tous les états; la *figurabilité* est donc une propriété commune à tous les corps, grands ou petits.

Les surfaces qui terminent les corps, peuvent varier, et varient effectivement à l'infini, soit par leur grandeur, soit par leur nombre, soit par leur arran-

gement respectif. D'où il suit que les figures des corps sont aussi variables, et peut-être aussi variées entr'elles, qu'il est possible de combiner ensemble la grandeur, le nombre et l'ordre des superficies. Je suis assez porté à croire qu'on ne pourroit pas trouver dans une forêt entière deux feuilles qui se ressemblassent en tout.

Impénétrabilité.

II. On entend par *impénétrabilité*, la propriété qu'ont tous les corps de ne point laisser prendre toute la place qu'ils occupent par d'autres corps, que préalablement ces autres corps ne les aient chassés de là. Cette propriété s'appelle aussi *solidité*; c'est par elle que les corps résistent à ceux qui tendent à occuper leur place. Cette résistance est non-seulement commune, mais même essentielle à tous les corps; cela est vrai, soit qu'on considère les corps dans leur tout, soit qu'on n'ait égard qu'à leurs parties les plus simples; c'est aussi le signe le moins équivoque de leur existence. Des illusions d'optique en imposent quelquefois à nos yeux; nous sommes tentés de prendre des fantômes pour des réalités: mais, en touchant, nous nous assurons du vrai par la résistance que nous éprouvons, et par la persuasion intime où nous sommes que tout ce qui résiste est corps, est *solide*, est *impénétrable*, et qu'on ne peut placer le doigt ou autre chose dans un lieu qui est occupé par une matière quelconque, sans employer une force capable de la pousser ailleurs. Cette résistance, qui est l'effet de l'impénétrabilité des corps, se trouve dans tous, comme nous le prouve l'expérience journalière. Il est vrai qu'il y a tel cas où elle échappe à

nos sens ou à notre attention. Certains corps nous touchent sans cesse, nous touchent par-tout également : l'habitude nous a rendu leur contact si familier, que nous avons besoin d'y réfléchir pour reconnoître l'impression qu'ils font sur nous. Quand on agit dans un air calme, on ne fait pas attention qu'on a continuellement à vaincre la résistance d'un corps dont la solidité s'oppose à nos mouvemens. Lorsque nous agissons si peu, nous croyons ne point agir. Si donc l'on prouve que l'air, ce fluide si peu résistant, a une résistance et une solidité réelles, à plus forte raison l'accordera-t-on aux autres corps, qui sont plus résistans que lui.

EXPÉRIENCE. Prenez un cylindre de métal très-fort, fermé par un bout et ouvert par l'autre, et intérieurement bien cylindrique; ce cylindre étant plein d'air, mettez-y un piston qui y soit si bien ajusté, qu'il ne laisse pas passer l'air entre ses parois et celles du cylindre. Avec une certaine force, vous pourrez enfoncer le piston jusqu'à une certaine profondeur, parce que l'air est un fluide compressible (899), et qui cède une partie de sa place à la force qui le comprime; mais il n'y a point de force connue qui puisse faire enfoncer le piston au point de le faire toucher le fond du cylindre : il restera toujours entre lui et ce fond une lame d'air qui sera d'autant plus mince, et aura d'autant plus de densité, que la force employée aura été plus grande; et cette lame d'air ne sera jamais réduite à zéro. L'air oppose donc une résistence réelle aux corps qui tendent à le déplacer; à plus forte raison, les autres corps plus résistans que lui jouissent-ils de cette propriété.

12. C'est cette résistance de l'air qui est cause qu'on ne peut pas remplir de liqueur une bouteille pleine d'air, si le canal de l'entonnoir remplit trop exactement le goulot de la bouteille; si l'air ne peut pas sortir, sa résistance empêche la liqueur d'entrer. C'est par la même raison qu'un tonneau percé d'un trou de vrille, ne laisse point écouler la liqueur qu'il contient; l'air qui se présente au trou résiste à cet écoulement, à moins que le trou ne soit assez grand pour donner en même temps un passage libre aux deux fluides, qui coulent en sens contraire.

13. Il y a cependant certains corps qui paroissent se laisser pénétrer par d'autres; mais ce n'est qu'une pénétration apparente, et point du tout réelle. Une éponge, par exemple, reçoit et retient intérieurement une grande quantité d'eau; mais cette eau va se loger seulement dans les vides qui se trouvent entre les parties de l'éponge, et n'occupe nullement la place des parties propres de l'éponge. On en peut dire autant d'un morceau de sucre, d'une pierre tendre, etc. La pierre des carrières de *Bouré*, près Montrichard, à neuf lieues de Tours, tient plus de 565 kiliogrammes d'eau par mètre cube; mais cette eau ne va occuper que des espaces que les parties de la pierre ou du sucre laissent entr'elles vides de leur propre substance, et jamais la place qu'occupent ces parties elles-mêmes. Deux litres, l'un d'eau et l'autre d'esprit-de-vin, mêlés ensemble, ne suffisent pas pour remplir un double litre. Un vase plein d'eau admet encore beaucoup de sable ou de cendre.

Expérience. A un volume d'eau de cinq litres, ajoutez un pareil volume de cendre, le volume du

mélange ne sera que de six litres. Voilà donc quatre dixièmes du volume total absorbés par la pénétration apparente

En travaillant à connoître la pesanteur spécifique des pierres, pour le grand ouvrage que j'ai publié là-dessus en 1787, j'ai eu occasion de connoître toutes celles qui sont perméables à l'eau. On sera peut-être bien aise d'en trouver ici la liste. Ces pierres sont

Les Ochres,
Les Grès,
Les Zéolites,
Les Amiantes et Asbestes,
Les Micas,
Les Schites,
Quelques serpentines, non pas toutes,
Les Stéatites,
Les pierres de Florence,
Les pierres calcaires, ou pierres à bâtir.

14. Il faut donc distinguer la grandeur apparente des corps, de leur *solidité* réelle ; car il reste des vides entre les parties de ces corps ; et l'*impénétrabilité*, dont il est ici question, n'appartient qu'aux parties solides des corps, qui se trouvent liées ensemble dans le même tout, et non pas au composé qui en résulte.

Porosité.

15. Nous venons de dire qu'entre les parties solides des corps il y a des interstices vides de leur propre substance (13) ; c'est là ce que l'on appelle *pores*. Tels sont les trous que l'on voit dans une éponge ; ce sont autant de pores de l'éponge : tels sont encore les petits trous que l'on voit dans une lame mince de bois, qu'on observe avec un microscope ; ces vides ne sont pas toujours des vides absolus : les plus grands, sur-tout ceux qui sont vers la surface,

sont remplis d'air : d'autres, plus petits, contiennent pour le moins du calorique. Il est cependant probable qu'il y a de ces *pores* absolument vides de toute substance : la liberté pour les mouvemens semble l'exiger ; car si tout étoit plein dans la nature, on ne concevroit pas comment un corps pourroit changer de place, puisque la matière est impénétrable (11), et qu'il y en auroit par-tout.

Il n'y a point de corps dont les parties soient tellement rapprochées les unes des autres, qu'il ne reste entr'elles aucun interstice vide de leur propre substance. La *porosité* est donc une propriété générale, et qui appartient à tous les corps ; mais elle n'appartient pas à tous au même degré : les uns ont une plus grande porosité que les autres, et cette plus grande porosité se mesure par la moindre pesanteur spécifique ; car la porosité est en raison inverse de cette pesanteur. Les pores les plus ouverts ne sont pas toujours une preuve de la plus grande porosité ; le nombre compense et même surpasse quelquefois ce que fait la grandeur. Par exemple, les pores du bois de chêne sont beaucoup plus ouverts que ceux du liége : cependant le bois de chêne a une porosité moindre que celle du liége ; car, à volume égal, il pèse plus que lui.

16. Quoique nous sachions que la porosité appartient à tous les corps, et que nous connoissions par le poids le rapport de la porosité d'un corps à celle d'un autre corps, nous ignorons cependant la quotité de cette porosité. Pour connoître sa valeur, il nous faudroit une matière toute solide, une matière qui n'eût point de pores, ou du moins une matière dont la porosité absolue nous fût connue : alors le rapport

de son poids au poids d'un autre corps, à volume égal, nous donneroit le rapport des porosités de ces deux corps, et par conséquent leurs porosités absolues. Mais nous ne connoissons point de matière de ces espèces. Le platine et l'or, qui sont de tous les corps les plus pesans, ont cependant des pores; car le mercure et l'acide nitro-muriatique, dit *eau régale*, s'insinuent entre leurs parties et les dissolvent; et leur porosité est même assez considérable. Suivant *Newton* (*Trait. d'Opt.* liv. 2, part. 3, prop. 8, pap. 315), l'or a plus de pores que de parties solides. Quelle doit donc être la porosité des autres corps? Cette porosité est en raison inverse de la densité ou pesanteur spécifique: or la densité de l'or est à celle de l'eau à-peu-près comme $19\frac{1}{4}$ est à 1, et elle est à celle de l'air comme environ 15627 est à 1. Mais comment concevoir une aussi grande porosité? *Newton*, dans l'endroit cité ci-dessus, page 315, nous en donne le moyen de la manière suivante. « Si nous concevons, dit-il, que ces particules (des corps) puissent » être tellement disposées, que les intervalles ou » espaces vides qu'il y a entr'elles soient égaux en » quantité à toutes ces particules prises ensemble; et » que ces particules soient composées d'autres plus » petites, qui aient entr'elles des espaces vides d'une » quantité égale à celle de toutes ces plus petites parti- » cules; et que ces plus petites particules soient pa- » reillement composées d'autres beaucoup plus petites, » qui toutes ensemble soient égales à tous les pores ou » espaces vides qu'il y a entr'elles, et ainsi de suite » jusqu'à ce qu'on vienne à des particules solides qui » n'aient nuls pores ou espaces vides; et que dans un » certain corps il y ait, par exemple, trois pareils

» degrés de particules, les moindres desquelles soient » solides, ce corps aura sept fois autant de pores que de » parties solides. Mais s'il y a quatre pareils degrés de » particules dont les moindres soient solides, le corps » aura quinze fois autant de pores que de parties so- » lides. S'il y en a cinq degrés, le corps aura trente- » une fois autant de pores que de parties solides; s'il » y en a six degrés, le corps aura soixante-trois fois » autant de pores que de parties solides, et ainsi de » suite continuellement ».

On voit que de cette manière on pourroit arriver à une porosité excessive.

17. Il n'y a point de corps visible, soit à la vue simple, soit par le moyen des microscopes, dans lesquels on n'apperçoive pas des pores. Certains fluides s'insinuent entre les parties de certains corps (13) : il faut bien pour cela qu'il y ait des pores; car la matière est impénétrable (11). Les bois, sur-tout les *tendres*, perdent ou acquièrent de l'humidité s'ils se trouvent dans des endroits plus ou moins secs qu'ils ne le sont eux-mêmes. C'est pourquoi il arrive souvent que les ouvrages de menuiserie se déjettent; une fenêtre qui se ferme aisément dans un temps, se trouve trop large dans un autre, et peut à peine rentrer en place; un tonneau entr'ouvert se raccommode en restant dans l'eau, etc. Tous ces effets ne sont autre chose que des dimensions diminuées par la sécheresse, ou augmentées par l'humidité qui s'insinue entre les parties des bois. On peut prévenir une grande partie de ces inconvéniens, en enduisant de part et d'autre les bois de menuiserie de peinture à l'huile ou de vernis; en bouchant ainsi les pores du bois avec une matière qui n'est

poin

point pénétrable à l'eau, on empêche l'humidité d'y entrer et même d'en sortir, et par ce moyen on leur conserve plus long-temps un état constant.

18. Notre transpiration prouve évidemment la porosité de notre peau; celle que l'on appelle *insensible*, et qui en effet ne s'apperçoit que par ses effets, est continuelle : aussi, selon *Santorius* et *Dodart*, perdons-nous par elle les cinq huitièmes de ce que nous prenons en nourriture. *Seguin* a fait là-dessus une belle suite d'expériences, dont voici les résultats.

La perte que nous cause la transpiration insensible, est telle que, 1°. quelle que soit la quantité d'alimens que l'on prenne, au moyen de la transpiration on revient au même poids après vingt-quatre heures, si l'on est adulte, et dans le cas où l'on se porte bien et où l'on digère bien.

2°. Si les quantités d'alimens varient, ou que les transpirations diffèrent, la quantité des excrémens compense; et tous les jours, à la même heure, on revient à-peu-près au même poids.

3°. Une mauvaise digestion diminue la transpiration; et, tant qu'elle dure, on augmente de poids chaque jour.

4°. Immédiatement après le dîné, la transpiration est à son *minimum*, parce que notre calorique (608, 1101), demeurant pour commencer la digestion, passe en moindre quantité dans l'air environnant, qui dissout alors moins d'humeur transpirable. Aussi, quand on se porte bien, éprouve-t-on après le dîné un léger sentiment de froid.

5°. Pendant la digestion, la transpiration insensible est à son *maximum*. Cette perte excédant celle que

l'on fait à jeun, est de 2,3 (122 milligrammes) par minute, de 138 grains (7330 milligrammes) par heure.

6°. Dans les circonstances les plus favorables, la transpiration insensible la plus considérable est, par un terme moyen, de 32 grains (1699,683078) par minute, ou 46080 grains ou 5 livres (2417529,233) par jour.

7°. Dans les circonstances les moins favorables, la transpiration insensible la moins considérable, supposant une bonne digestion, est, par un terme moyen, de 11 grains (584,265) par minute, ou de 15840 grains ou une livre 11 onces 4 gros (841558,174) par jour.

8°. Immédiatement après le repas, dans les cas défavorables, la transpiration est de 8,2 (435,541) par minute, et dans les cas favorables, de 9,1 (485,345).

9°. Voilà pour la transpiration en général; mais il faut distinguer deux sortes de transpiration, la cutanée et la pulmonaire. Pour les avoir séparément, *Seguin* s'est mis tout le corps dans une enveloppe imperméable à l'humeur transpirable, n'ayant que le nez et la bouche en dehors, de sorte qu'il n'y avoit que l'humeur transpirable des poumons qui pouvoit s'échapper.

10°. La transpiration cutanée dépend, 1°. de la vertu dissolvante de l'air environnant; 2°. de la faculté des vaisseaux exhalans de porter jusqu'à la peau l'humeur transpirable. Si ces deux causes sont réunies, la transpiration est abondante; mais si l'une est supprimée, la transpiration diminue. Une enveloppe

imperméable sur le corps supprime la première; une mauvaise digestion supprime la seconde.

11°. Par un terme moyen, la transpiration insensible est de 18 grains (956,066 m.gm.) par minute; savoir, 11 grains (584,263 m.gm.) de transpiration cutanée, et 7 grains (371,803 m.gm.) de transpiration pulmonaire; ce qui fait par jour 1 livre 11 onces 4 gros (8 hectogrammes 41 grammes 338,174 m.gm.) de transpiration cutanée, et 1 livre 1 once 4 gros (5 hectogrammes 35 grammes 397,02 m.gm.) de transpiration pulmonaire.

12°. La transpiration pulmonaire obéit aux mêmes loix que la transpiration cutanée; mais, suivant que ces lois se combinent entr'elles, il arrive que, 1°. ou l'air qui ressort des poumons ne peut pas dissoudre toute l'eau qui s'y forme; 2°. ou cet air peut à chaque expiration emporter toute l'eau qui s'est formée pendant l'inspiration; 3°. ou cet air peut de plus dissoudre l'eau qui suinte dans les poumons avec l'hydrogène carbonné. Dans le premier cas, nous pouvons augmenter de poids; dans le second, nous pouvons n'en pas changer; et dans le troisième, nous pouvons en diminuer.

13°. La transpiration pulmonaire, relativement au volume des poumons, est plus considérable que la transpiration cutanée, comparativement à la surface de la peau. Cela vient, 1°. de ce que l'air qui entre dans nos poumons est en contact immédiat avec l'eau qui s'y trouve; 2°. de ce qu'il y reçoit une plus haute température.

14°. La transpiration pulmonaire est à-peu-près

la même avant et immédiatement après le repas; si elle est avant le repas de 8,2 (435,541) par minute, elle est après le repas de 8,7 (462,099). Ces 0,5 (26,557) de plus, correspondent assez exactement à la quantité de carbone et d'hydrogène que doit fournir la digestion.

Résultats généraux.

1°. La transpiration insensible est de 18 grains (956,066) par minute, ou de 25920 grains ou 2 livres 13 onces (1 kiliogramme 376 grammes 735,194) par jour.

2°. L'air pur consommé est 1512 pouces cubes (29 décimètres cubes 992 centimètres cubes 598,353) par heure, ou 36288 pouces cubes ou 21 pieds cubes (719 décimètres cubes 822 centimètres cubes 360,475) par jour, dont le poids est 1 livre 15 onces 4 gros (963 grammes 714,636)

3°. De cette quantité 8,2 (281 décimètres cubes 073 centimètres cubes 493,138) forment du gaz acide carbonique, et 12,8 (438 décimètres cubes 748 centimètres cubes 867,357) forment de l'eau.

4°. Sur cinq parties d'air pur, deux forment du gaz, et trois parties forment de l'eau.

5°. Le volume du gaz expiré est d'environ 8 pieds cubes (274 décimètres cubes 218 centimètres cubes 042,086) par jour, et son poids est 1 livre 0 once 5 gros

52 grains (510 grammes 526,842 m.gm.), composé de 4 onces 5 gros 25 grains (142 grammes 825,653 m.gm.) de carbone et de 12 onces 7 grains (367 grammes 501,188 m.gm.) d'oxigène.

6°. Le poids de l'eau formée est 1 livre 5 onces 6 gros 23 grains (666 grammes 645,650 m.gm.) par jour, composée de 3 onces 2 gros 11 grains (100 grammes 015,138 m.gm.) d'hydrogène, et de 1 livre 2 onces 4 gros 12 grains (566 grammes 628,513 m.gm.) d'oxigène.

7°. La quantité d'eau qui se dégage des poumons est 12 onces 6 gros 47 grains (392 grammes 571,366 m.gm.) par jour.

8°. En ajoutant ensemble toutes les matières qu'on perd en vingt-quatre heures, on trouve

	liv.	onc.	gros	gr.	gram.	milligram.
L'eau qui se dégage par la transpiration cutanée.	1	11	4	0.	841	538,174
L'eau par la transpiration pulmonaire.		12	6	47.	392	571,366
Le carbone.		4	5	25.	142	825,653
Total de la perte en vingt-quatre heures	2	13	0	0.	1376	735,194

19. La coquille des œufs est poreuse : c'est par ses pores que l'œuf, sitôt après avoir été pondu, commence à se vider, et cesse d'être ce qu'on appelle *frais*. Si l'on veut l'empêcher de rien perdre, il n'y a qu'à boucher ses pores avec une matière grasse ; de l'huile d'olive suffit pour cela. Il faut, après l'en avoir enduit par-tout avec le bout du doigt, le bien essuyer

avec une serviette, afin qu'il n'en reste qu'une couche très-mince, de peur que la pression ne l'air n'en fasse entrer dans l'œuf quelques gouttelettes, qui, en devenant rances, lui donneroient un mauvais goût. Pour les conserver bien frais, il faut les graisser ainsi aussitôt qu'ils sont pondus, ou du moins dans le jour même. J'en ai mangé d'ainsi préparés, qui avoient plus d'un an de date, et qui se sont trouvés aussi frais et aussi délicats que ceux qui étoient pondus du jour. Pour les garder aussi long-temps, il faut qu'ils n'aient pas été fécondés; car, s'ils l'ont été, ils ne peuvent se conserver que six semaines ou deux mois.

20. La lumière est une matière (1174), et l'on sait qu'elle s'insinue et pénètre avec la plus grande facilité au travers de tous les corps transparens : il faut donc que ces corps aient, dans tous les sens, une grande quantité de pores.

21. Certains corps admettent dans leurs pores certains fluides, tandis que d'autres ne peuvent pas s'y insinuer; et le même fluide pénètre dans les pores d'un corps, tandis qu'il ne peut pas pénétrer dans ceux d'un autre. Par exemple, le marbre admet dans ses pores l'esprit-de-vin et les huiles, et non pas l'eau; les gommes se laissent pénétrer par l'eau, et non pas par l'esprit-de-vin; les résines, par l'esprit-de-vin ou les huiles, et non pas par l'eau. L'acide nitrique s'insinue dans les pores de l'argent et le dissout, et n'altère pas l'or; l'acide nitro-muriatique ou *eau régale* s'insinue dans les pores de l'or et le dissout, et n'altère pas l'argent; l'acide nitrique dissout le cuivre, le fer, etc. et ne peut pas entamer un morceau de beurre : d'où cela vient-il? Cela ne peut pas venir seulement de ce que les pores d'une substance sont

plus ouverts, et ceux d'une autre le sont moins. Car supposons que les pores des gommes soient plus ouverts que ceux des résines, et que les particules de l'eau soient plus grossières que celles de l'esprit-de-vin, cela expliqueroit bien pourquoi l'eau ne dissout pas les résines, tandis qu'elle dissout les gommes : ses parties, trop grossières, ne pourroient pas s'insinuer dans les pores trop peu ouverts des résines. Mais pourquoi les particules de l'esprit-de-vin, plus déliées que celles de l'eau, ne s'insinueroient-elles pas dans les pores des gommes, plus ouverts que ce des résines, dans lesquelles elles pénétrent si ais nt? La seule raison de la grandeur des pores du corps à dissoudre, et de la petitesse des particules du dissolvant, ne suffit donc pas pour expliquer ces faits, quoique probablement elle y contribue pour quelque chose : il faut y joindre une autre cause. Cela vient sans doute de ce que la figure des pores du corps à dissoudre doit être appropriée à la figure des particules du dissolvant; et il est certain que les pores sont de différentes figures dans différens corps.

Raréfactibilité.

22. La *raréfactibilité* est la propriété qu'ont les corps d'acquérir une augmentation de volume par l'action de chaleur. Cette action, par laquelle ils augmentent de volume, est ce qu'on appelle *raréfaction*. Tous les corps (et l'on n'en doit excepter aucun) augmentent de volume, ou se raréfient toutes les fois qu'ils s'échauffent. La *raréfactibilité* est donc une propriété générale, et qui appartient à tous les corps.

La vraie cause de cette raréfaction est l'introduc-

tion d'une quantité plus ou moins grande de la matière de la chaleur dans les pores des corps, qui, par son abondance et son action, pénètre les corps, en écarte les parties, et augmente ainsi leur volume en leur faisant occuper un espace plus grand que celui qu'ils occupoient auparavant. Tous les corps, soit solides, soit fluides, soit liquides, sont susceptibles de cette raréfaction : aussi a-t-elle lieu dans tous, toutes les fois qu'ils s'échauffent, à moins que quelque cause plus forte ne s'oppose à cet effet. Nous verrons les preuves de ceci, en parlant de l'action du feu sur les corps (1154 *et suiv.*)

Condensabilité.

23. La *condensabilité* est la propriété qu'ont les corps de diminuer de volume par le refroidissement; ce qui ne manque jamais de leur arriver toutes les fois qu'ils perdent une portion de la matière de la chaleur qui s'étoit introduite dans leurs pores. Il est aisé de voir que cette propriété est précisément le contraire de la propriété précédente, de la raréfactibilité (22).

Toutes les fois qu'un corps passe d'un lieu plus chaud dans un lieu moins chaud, ou qu'il est entouré d'un air moins chaud que celui qui l'environnoit auparavant, ou qu'enfin il se trouve voisin de corps moins chauds que lui, il communique à ces corps voisins une portion de la matière de la chaleur qui le pénétroit et qui tenoit ses parties écartées; car la matière de la chaleur est un fluide (588,1101), et le propre des fluides est de se répandre uniformément par-tout, tant qu'il n'y a pas de causes qui s'y opposent. Les parties de ce corps, alors moins soute-

nues, retombent, se rapprochent les unes des autres, et se renferment dans des limites plus étroites : en un mot, ce corps devient plus petit qu'il ne l'étoit. C'est là ce qu'on appelle *condensation*. Mais comme il n'y a point de corps qui, en diminuant de chaleur, ne soit susceptible de cette espèce de rétrécissement, on doit conclure que la *condensabilité* est une propriété générale des corps, qu'elle appartient à tous indistinctement et sans aucune exception. Qu'on n'objecte pas à cela que l'eau qui se gèle, en se refroidissant, augmente cependant de volume (1076) ; car cette augmentation est due à une cause étrangère, dont nous parlerons en traitant de la glace ; et l'on verra alors que l'eau gelée est réellement de l'eau condensée.

Nous parlerons plus amplement de la condensation des corps, en traitant du feu et de la chaleur qui les raréfie.

Compressibilité.

24. De tout ce que nous avons dit de la porosité, il suit que la grandeur apparente d'un corps excède toujours la quantité réelle de sa matière propre ; car les parties de ce corps ne sont pas aussi rapprochées les unes des autres qu'elles pourroient l'être, puisqu'il reste entr'elles des vides de leur propre substance (15). La quantité de matière qui compose le corps, est ce qu'on appelle sa *masse*, et l'espace qu'il occupe se nomme son *volume* (10). Cet excès du volume sur la masse varie, non-seulement dans les différens corps, mais aussi dans le même corps (22 et 23). C'est ce rapport du volume à la masse qu'on nomme

densité ; un corps est plus *dense* qu'un autre, quand la quantité réelle de sa matière diffère moins de sa grandeur apparente, ou, ce qui est la même chose, quand, sous un volume donné, il contient plus de parties solides. Le plomb est plus dense que le cuivre, l'or l'est plus que l'argent, etc.

Comme nous ne connoissons point de corps parfaitement durs, et que tous ont des pores, il est évident qu'une force extérieure, suffisante pour vaincre la roideur des parties, pourra rapprocher ces parties les unes des autres, diminuer le volume de ce corps sans diminuer sa masse, et par conséquent augmenter sa densité. C'est ce rapprochement de parties par une force extérieure, que l'on appelle *compression.*

25. Nous mettons la *compressibilité* au nombre des propriétés générales, et qui appartiennent à tous les corps; mais elle n'appartient pas à tous au même degré : les uns sont très-compressibles, d'autres le sont fort peu. Tous les corps que nous appelons *solides,* c'est-à-dire, ceux dont les parties adhèrent assez fortement les unes aux autres, pour n'avoir point entr'elles cette mobilité respective qui se trouve entre les parties des fluides et des liquides; tous ces corps, dis-je, donnent des marques très-sensibles de compression. Si l'on donne un fort coup de marteau sur une masse d'or, ou d'argent, ou d'étain, ou de plomb, le choc du marteau y laisse une impression très-apparente, et qui prouve évidemment que les parties ont été comprimées dans l'endroit du choc. Si on laisse tomber d'une certaine hauteur une boule de marbre, ou d'ivoire, ou d'acier, ou même un diamant (qui est le plus dur de tous les corps), sur un autre corps dur, tous ces corps rejaillissent à l'instant, se

réfléchissent. Or, nous ferons voir ci-après (51) que le mouvement de réflexion est une preuve certaine de la compressibilité des corps ; car ces corps ne peuvent pas se réfléchir si aucun d'eux n'est élastique, et l'élasticité ne pourroit pas exister dans un corps non compressible (52).

26. Il y a d'autres corps qui sont beaucoup plus compressibles que ceux dont nous venons de parler, qui diminuent considérablement de volume par une pression qui n'est même pas très-forte : tels sont les fluides élastiques, comme l'air et les gaz; et c'est par cette propriété qu'ils sont capables de produire des effets très-singuliers. dont nous parlerons en traitant de l'*air* (886 *et suiv.*)

27. Il existe aussi une autre sorte de substances qui ne paroissent donner aucun signe de compressibilité ; c'est-à-dire, que, quelque force qu'on ait employée contre elles, elles n'ont jamais paru céder à la pression qu'on leur a fait éprouver ; on n'a jamais pu appercevoir la moindre diminution dans leur volume ; telles sont toutes les liqueurs. Messieurs de l'*Académie del Cimento* ont fait, pour s'en assurer, une expérience très ingénieuse, mais qui malheureusement n'est pas assez concluante. Voici en quoi elle consiste.

Il est mathématiquement démontré qu'une capacité sphérique est plus grande que toute autre capacité qui auroit une surface égale à la sienne. Il suit de là qu'un vaisseau qui a une figure sphérique, et qui est plein d'une liqueur quelconque, ne peut pas perdre cette figure qu'il n'arrive l'une de ces deux choses : ou que ce vaisseau augmente de surface pour con-

server la même capacité, ou que la liqueur qu'il contient diminue de volume.

EXPÉRIENCE. Messieurs de l'Académie del Cimento ont donc pris une boule d'or très-mince et bien sphérique; ils l'ont remplie d'eau entièrement, et l'ont exactement bouchée : après quoi, au moyen d'une presse, ils l'ont un peu applatie; ils en ont fait disparoître deux petits segmens. Après ce changement de figure, la boule s'est trouvée avoir la même capacité qu'auparavant; preuve certaine que la boule est augmentée de surface. Cette expérience sembleroit prouver que l'eau est absolument incompressible : cependant on peut dire à cela qu'il est possible que l'eau ait été comprimée dans le premier instant, et qu'en se rétablissant par la force de son ressort, elle ait occasionné l'extension du métal : voilà pourquoi j'ai dit que cette expérience n'étoit pas concluante. Si l'on continue de presser la boule, l'eau, au lieu de céder à cette pression, se fait jour à travers des pores du métal, et paroît sur la surface en petites gouttes semblables à celles de la rosée; ce qui prouve que les liqueurs sont capables de résister à une très-forte pression.

EXPÉRIENCE. Voilà une autre expérience qui est pour le moins aussi concluante que la précédente; car il n'y a aucun instant où l'on puisse appercevoir la moindre diminution du volume. On prend un tuyau de verre ABCD (*fig.* 1) assez épais, long d'environ sept pieds (227 centimètres), recourbé en forme de siphon en BC, scellé hermétiquement en D, et ouvert en A. On met du mercure dans la courbure BC; on fait ensuite passer de l'eau dans la partie CD, et l'on marque exactement avec une soie fine l'endroit C, où se joignent le mercure et l'eau : cela fait, on rem-

plit le tuyau de mercure de B en A. Alors l'eau qui est en C D se trouve pressée par le poids de la colonne A B de mercure, lequel est égal à environ trois fois le poids de l'atmosphère, comme nous le prouverons (501) en traitant de l'hydrostatique. Malgré cette grande pression, la colonne d'eau C D ne diminue point de longueur : pour peu qu'elle en diminuât; le mercure monteroit au-dessus de la soie qui est en C, et jamais on ne l'y voit monter, même de l'épaisseur d'un cheveu.

28. Quoique ces expériences paroissent prouver l'incompressibilité des liqueurs, il ne faut cependant pas les regarder comme absolument incompressibles, 1°. parce que, comme nous l'avons prouvé ci-dessus (24), tous les corps solides sont compressibles, par la raison qu'ils ont des pores, ce qui permet à leurs parties de se rapprocher ; de même, les liqueurs n'étant autre chose que des assemblages de petits corps solides et poreux, doivent aussi être compressibles, avec cette différence qu'elles le sont beaucoup moins, parce que la compressibilité doit diminuer comme la grandeur des corps, et que les particules des liqueurs sont prodigieusement petites ; 2°. parce que les liqueurs donnent d'ailleurs des preuves de compressibilité, puisqu'elles sont capables de transmettre les sons, comme nous le prouverons (1005) en traitant des sons : or cela ne pourroit pas être si elles n'avoient pas d'élasticité, laquelle suppose toujours la compressibilité (31, 32).

29. De tout ceci nous devons conclure que les liqueurs, quoique compressibles en elles-mêmes, sont cependant capables de résister aux efforts qu'on a employés jusqu'ici contre elles ; qu'il est probable

qu'elles céderoient enfin d'une manière sensible, s'il étoit possible de les soumettre à de plus fortes pressions, et qu'elles cèdent même peut-être déjà à celles qu'on emploie, mais d'une quantité trop petite pour être apperçue

30. Il est très-avantageux pour nous que les liqueurs puissent résister à des pressions qui compriment fortement les autres corps : toutes celles que nous tirons par expression des végétaux, tels que le vin, le cidre, les huiles, etc. ne se sépareroient point des parties solides qui les contiennent, si ces liqueurs étoient aussi compressibles qu'elles. La facilité que nous avons à extraire les sucs que la nature y a préparés pour nos usages, est presque toute fondée sur la resistance que les liqueurs opposent aux forces qui tendent à les comprimer.

Elasticité.

31. L'*élasticité* est l'effort par lequel les corps qui ont été comprimés, tendent à reprendre l'état qu'ils avoient avant la compression; tendent, en un mot, à se rétablir dans leur premier état. Un corps qui a de l'élasticité est donc celui qui, après avoir été comprimé par une force quelconque, reprend, lorsque cette force cesse d'agir, les mêmes dimensions et la même figure qu'il avoit avant d'être comprimé. Tel est un arc que l'on bande en raccourcissant sa corde, et qui, si l'on vient à couper la corde ou à la lâcher, reprend sa première situation. Telle est encore une bille d'ivoire ou d'acier que l'on laisse tomber sur un plan de marbre; par sa chûte et son choc contre le marbre, elle éprouve une compression qui

porte une portion plus ou moins grande de cette petite sphère vers son centre, et lui fait perdre sa forme ronde : l'instant après il ne reste sur la bile aucune marque de cette compression ; elle a repris sa forme rodne par son élasticité, et c'est ce qui cause le mouvement réfléchi qu'elle éprouve en pareil cas (128).

32. Ce que nous venons de dire prouve que l'élasticité suppose nécessairement, dans les corps qui en jouissent, de la compressibilité. Un corps qui ne seroit point compressible, ne pourroit être élastique; car ne pouvant pas changer de figure, il ne seroit pas dans le cas de la reprendre. De même que nous avons fait voir ci-dessus (25, 26, 27, 28) que tous les corps sont compressibles, les uns plus, les autres moins ; de même aussi il est aisé de concevoir que tous sont élastiques, mais à des degrés différens.

33. L'élasticité consiste donc en ce qu'un corps se rétablisse après avoir été comprimé, lorsque la force comprimante cesse d'agir. Pour que cette élasticité soit parfaite, il faut que le corps se rétablisse, 1°. complètement, 2°. avec autant de prestesse que celle avec laquelle il a été comprimé ; c'est-à-dire, qu'il faut que le corps revienne précisément au même état qu'il avoit auparavant, et qu'il reprenne cet état en un temps aussi court que celui qu'il a fallu pour le lui faire perdre. Si nous en exceptons la matière de la lumière et les fluides aériformes, nous ne connoissons point de corps qui jouissent de cette perfection d'élasticité. Aucun ne se rétablit complètement, et tous emploient à reprendre leur état plus de temps qu'ils n'en ont mis à le perdre ; et, parmi ceux-ci, tous ne sont pas élastiques au même degré ; dans les

uns, cette force élastique est aisée à appercevoir, les effets en sont sensibles, et chacun réagit plus ou moins, selon la dureté, la roideur ou la disposition de ses parties internes. Non-seulement cette qualité n'est pas parfaite, comme nous venons de le dire, mais on remarque presque toujours qu'elle se perd, ou du moins s'affoiblit par un long usage ou par une compression d'une trop longue durée. Un arc qui a été trop long-temps ou trop souvent tendu, garde enfin une portion de la courbure qu'on lui a fait prendre. Le crin, la laine ou la plume, ces substances élastiques dont nous garnissons nos meubles, perdent par succession de temps presque tout leur ressort; et ce n'est qu'en les remuant beaucoup ou les cardant de nouveau, que nous faisons revivre en elles cette élasticité qui nous est si précieuse, et qui nous fournit tant de commodités. Il y a d'autres corps qui ne se rétablissent presque point, dans lesquels les effets de l'élasticité sont presque insensibles. Dans ces corps, quoiqu'ils aient réellement un peu d'élasticité, on est dans l'usage de la regarder comme nulle, et on appelle ces sortes de corps, *corps mous*, *corps non-élastiques*, *corps sans ressort*; ce qui veut dire seulement, corps privés d'un ressort assez actif pour être compté pour quelque chose. Telle est, par exemple, la terre molle.

L'élasticité doit donc être regardée comme une propriété générale des corps, comme une propriété qui appartient à tous indistinctement, quoiqu'à un degré plus ou moins élevé; car il n'y en a aucun, quelque mou qu'il soit, dans lequel, si l'on observe attentivement, on ne remarque au moins une petite portion de cette force. Nous n'en exceptons pas même les liqueurs; car elles sont capables de transmettre les

sons

sons (1005) : or, il n'y a que des corps élastiques qui puissent le faire.

34. Nous avons dit que les corps, en vertu de leur élasticité, reprennent l'état qu'ils avoient avant la compression; mais ce n'est qu'après un plus ou moins grand nombre de balancemens, appelés *vibrations*, que cet état est entièrement repris; et ces vibrations sont de telle nature, qu'elles sont toujours isochrones ou de même durée, soit qu'elles soient grandes, soit qu'elles soient petites, soit qu'elles aient une grande ou une petite amplitude. De plus, dans chacune de ces vibrations, la vîtesse du ressort s'accélère depuis le point de tension jusqu'au lieu de son repos, et retarde ensuite dans la même proportion en s'en éloignant; de sorte que le point où le ressort frappe le plus fort est le lieu de son repos; car c'est à ce point-là où il a la plus grande vîtesse acquise.

35. S'il y a des corps qui perdent quelquefois leur élasticité, il y en a aussi dans lesquels on peut l'augmenter par différens moyens employés dans les arts. Les corps sonores devant avoir un ressort très-actif, on augmente l'élasticité des métaux dont on fait les cloches, les timbres, etc. en les mêlant et les faisant fondre avec d'autres métaux ou demi-métaux; ce que l'on appelle *alliage*, parce qu'on a remarqué qu'un pareil mélange est plus dur, plus roide et plus élastique que les métaux simples dont il est composé.

36. La plupart des métaux, même sans être alliés, acquièrent une plus grande élasticité, prennent un ressort plus actif, lorsqu'on les bat à froid; ce que les ouvriers appellent *écrouir*. On augmente donc l'élasticité des métaux par l'*écroui*.

EXPÉRIENCE. Si vous voulez en avoir la preuve, prenez dans la même planche de cuivre deux lames de ce métal, de mêmes dimensions; battez l'une des deux à froid sur un enclumeau. Ensuite essayez de les courber : si-tôt que vous les lâcherez, celle des deux qui aura été écrouie reprendra son premier état, à très-peu de chose près, et l'autre gardera presqu'en entier la courbure que vous lui aurez donnée.

37. Mais de tous les corps dont on augmente artificiellement l'élasticité, il n'en est point sur lequel on produise un plus grand effet que sur l'acier; et parmi les différens procédés qu'on emploie pour cela sur ce métal, il n'en est point de plus efficace que la *trempe*, qui consiste à chauffer fortement l'acier, et à le refroidir subitement en le plongeant dans une liqueur froide. L'acier prend par-là une dureté et une élasticité d'autant plus grandes, qu'on le chauffe davantage, et que la liqueur dans laquelle on le plonge est plus froide. Mais si la trempe a produit un plus grand effet que celui dont on a besoin, on peut le modérer, et diminuer cette élasticité par le *recuit*, qui consiste à chauffer modérément l'acier, et à le laisser ensuite refroidir lentement à l'air.

Il faut savoir que l'acier n'est point un métal particulier ; c'est un fer préparé par la cémentation. Chaque ouvrier a son cément particulier, dont il fait souvent un secret; mais dans tous il entre des matières charbonneuses. Ci-devant la plupart des chimistes regardoient l'acier comme un fer plus pur que celui dont il avoit été formé; ils étoient dans l'erreur. Il est bien prouvé aujourd'hui que l'acier est un fer combiné avec le carbone ou principe carbonneux, qui s'est uni au fer pendant la cémentation, et qui

y est intimément mêlé. Aussi à la cassure du fer pur, on voit qu'il est composé de lames, et la cassure de l'acier montre de petits grains, qui sont le produit du mélange du fer extrêmement divisé et du carbone. Lorsqu'on chauffe l'acier, l'action du feu (dont la propriété bien connue est de procurer l'union des matières homogènes) fait sortir de l'intérieur de ses molécules une grande partie du principe charbonneux qui s'y trouve disséminé, sans pour cela le faire sortir de la masse totale. La trempe saisit donc l'acier dans un moment où ses principes, quoique les mêmes, sont moins mêlés; ce qui fait que les molécules sont composées de parties plus homogènes, et qu'en même temps ces molécules sont moins liées ensemble. Ceci rend assez bien raison des différens phénomènes de la trempe.

1°. Le grain de l'acier paroît plus gros après la trempe qu'auparavant, parce que chaque molécule s'est formée d'un plus grand nombre de particules métalliques réunies.

2°. L'acier a un plus grand volume après la trempe; car alors sa pesanteur spécifique est moindre. Cela vient de ce que la trempe fixe l'acier dans un état où le mélange de ses principes est moins complet.

3°. L'acier est plus dur après la trempe, parce que chacune de ses molécules étant plus grosse, touche ses voisines par de plus grandes surfaces; il est donc plus difficile de l'en détacher, et de plus, les parties qui composent chaque molécule étant plus homogènes, s'unissent plus aisément et adhèrent plus fortement entr'elles; il est donc plus difficile d'entamer cette molécule.

4°. L'acier, quoique plus dur après la trempe, est

cependant plus cassant, parce que la liaison des molécules entr'elles et la somme des attouchemens sont moindres.

5°. Le recuit rend l'acier moins cassant, parce qu'un refroidissement lent donne aux parties le temps de se mêler de nouveau, et augmente par-là la somme des attouchemens. Ce sont sans doute ces attouchemens immédiats qui sont la cause de l'adhérence des particules entr'elles, et en conséquence de la dureté des corps.

38. Quoique nous ayons des procédés certains pour augmenter ou diminuer la force du ressort de plusieurs corps (35, 36, 37), nous n'en connoissons pas mieux en général la cause de l'élasticité. Tout ce qu'on a imaginé jusqu'à présent pour en rendre raison, n'est que conjectures mal fondées, et souvent démenties par l'expérience.

On a d'abord prétendu que c'étoit de l'air que dépendoit l'élasticité des corps. On croyoit que l'air, s'insinuant par les pores entre les parties des ressorts tendus, les poussoit de manière à leur faire reprendre leur première situation, et qu'ainsi il rendoit ces corps élastiques. Mais cela est démenti par l'expérience, puisque l'élasticité a lieu dans le vide de Boyle, comme en plein air.

On a donc eu recours à un autre fluide beaucoup plus subtil que l'air grossier, et on l'a supposé lui-même élastique. En conséquence, voici comment on a raisonné. Quand on courbe un ressort, les pores de la partie qui devient convexe s'élargissent, et ceux du côté qui devient concave se rétrécissent; les petites particules de ce fluide élastique qui se trouvent dans ces derniers pores, sont comme autant de petits

ballons comprimés, qui, par leur élasticité, tendent à se rétablir, et redressent ainsi le ressort. Mais on suppose ici ce qui est en question; car il s'agit de l'élasticité des corps en général, et il restera toujours à savoir quelle est la cause de l'élasticité de ce fluide. Seroit-ce encore un fluide plus subtil qui seroit aussi élastique? Nous demanderons quelle est la cause de l'élasticité de ce dernier, et ainsi à l'infini.

Dire que les corps élastiques sont tels, parce qu'ils sont composés de petites parties, dont chacune est douée d'une force élastique, c'est un cercle vicieux bien ridicule.

Enfin d'autres physiciens attribuent l'élasticité à la force répulsive qu'ont entr'elles les particules des corps. Quand on comprime, disent-ils, un corps élastique, ses pores se rétrécissent; de sorte qu'alors plusieurs particules qui étoient auparavant à quelque distance l'une de l'autre, se rapprochent de la sphère de leur répulsion réciproque; et cette répulsion devient d'autant plus forte, que la compression augmente, c'est-à-dire, que les parties se rapprochent davantage les unes des autres. C'est pourquoi, disent-ils, l'élasticicité des métaux augmente quand on les écrouit : plus on les bat à froid, plus ils deviennent élastiques. De là vient encore, ajoutent-ils, que quand les pores d'un corps sont fort grands, ce corps peut souffrir compression sans recevoir beaucoup d'élasticité. N'est-ce pas encore là une supposition sans fondement? cette force répulsive n'est-elle pas diamétralement opposée à la force attractive? On prétend que les particules des corps s'attirent d'autant plus puissamment, qu'elles se touchent de plus près; et ici l'on dit qu'elles se repoussent d'autant plus vive-

ment, qu'elles sont plus rapprochées les unes des autres. N'est-ce pas supposer des attractions et des répulsions selon le besoin qu'on en a, et tout-à-fait gratuitement ? Plutôt que de faire d'aussi mauvais raisonnemens, il vaut bien mieux avouer ingénûment que nous ignorons quelle est la cause de l'élasticité des corps.

Dilatabilité.

39. La *dilatabilité* est la propriété qu'ont les corps d'acquérir une augmentation de volume, d'occuper un plus grand espace par la force de leur ressort, sitôt qu'il cesse d'être retenu par des obstacles. La plupart des physiciens confondent la dilatation avec la raréfaction; mais je pense qu'il est à propos de les distinguer. Il est bien vrai que, dans l'un et l'autre cas, les corps augmentent de volume; mais la raréfaction est occasionnée par la chaleur (22), et la dilatation l'est par la force élastique. Or il ne faut pas regarder comme le même deux effets qui, quoique semblables en apparence, sont cependant produits par deux causes si différentes.

Tout corps élastique (et nous venons de faire voir (33) qu'il n'y en a aucun qui ne le soit, peu ou beaucoup) qui est dans un état de contraction, sitôt que la puissance qui le retient cesse d'agir, ou qu'elle agit moins fortement, s'étend, augmente de volume, en un mot, se *dilate*. L'air sur-tout, ainsi que tous les fluides aériformes, a cette propriété dans un degré éminent; de sorte que la plus petite portion d'air renfermée dans un vase le remplit toujours, quelque grand qu'il soit; et si on le tient comprimé, il fait toujours, pour se dilater, un effort égal à la force qui

le comprime (911). C'est pourquoi les corps, en se dilatant par l'effet de leur ressort, ont beaucoup plus de force au commencement qu'à la fin de leur dilatation, parce que, dans ce premier instant, ils sont beaucoup plus comprimés; et plus la compression est grande, plus la force élastique et l'effort pour se dilater sont considérables; en sorte que ces deux choses, savoir, la force comprimante et la force élastique, sont toujours égales.

Mobilité.

40. La *mobilité* est la faculté qu'ont tous les corps de pouvoir être mis en mouvement. Il n'y a point de corps qui ne puisse être mis en mouvement par une force suffisante : la mobilité est donc une propriété générale des corps, et qui appartient à tous indistinctement; mais elle n'appartient pas à tous au même degré. Elle est fondée sur certaines dispositions qui ne se trouvent pas également dans tous les corps; c'est ce qui fait que les uns sont plus mobiles que les autres, c'est-à-dire, qu'il faut employer moins de force pour les faire passer de l'état de repos à celui de mouvement. Les principales de ces dispositions sont la figure du corps, le poli de sa surface, et sa masse ou la quantité de matière contenue sous son volume.

Supposons deux corps de même substance, dont les masses ou les poids soient égaux, les surfaces également bien polies, et posés tous deux sur le même plan; mais que l'un des deux ait une forme ronde, et l'autre une figure cubique. L'expérience fait voir que la même impulsion porte le premier plus loin que

le second, et que ce premier conserve ce mouvement plus long-temps que ne le fait l'autre. Puisque ces deux corps ne diffèrent qu'en figure, donc la figure contribue à la mobilité.

Supposons encore deux corps de même substance, de masses egales et de même figure posés encore tous deux sur le même plan; mais imaginons que la surface de l'un est raboteuse, et que celle de l'autre est bien polie. Cette différence, qui est la seule qui soit entre ces deux corps, suffit pour que la même impulsion porte le dernier plus loin que le premier. Le poli de la surface contribue donc à la mobilité.

Supposons, en troisième lieu, deux corps parfaitement semblables par leur volume, par leur figure et par le poli de leur surface, mais différens par leur masse : par exemple, deux boules de même diamètre, l'une de bois et l'autre de plomb. Il est évident que la même impulsion n'enverra pas si loin la dernière que la première. Le moins de masse dans l'une des deux la rend donc plus propre à être mise en mouvement; le plus ou le moins de masse contribue donc à la mobilité : un corps qui a moins de masse qu'un autre, oppose donc une moindre résistance à l'effort qui tend à le faire changer d'état.

Inertie.

41. L'*inertie* des corps est la résistance dont nous venons de parler; c'est l'action par laquelle tout corps résiste à toute variation d'état, c'est-à-dire, par laquelle, lorsqu'il est en repos, il résiste au mouvement; lorsqu'il est en mouvement, il résiste au repos, ou à un mouvement plus prompt ou plus lent. L'iner-

tie est donc une force qui réside dans tous les corps, qui y est inhérente en quelque état qu'ils se trouvent. Mais elle n'est pas dans tous au même degré, car, ainsi que la pesanteur, elle est toujours proportionnelle à la masse ou à la quantité de matière propre de chaque corps, c'est-à-dire, qu'un corps qui a une masse double ou triple de celle d'un autre corps, a une force d'inertie double ou triple de celle de l'autre corps, et par cette force, résiste doublement ou triplement à l'effort qui tend à la vaincre.

42. Il y a des auteurs qui ont confondu la force d'inertie avec la pesanteur; cependant, quoique ces deux forces aient de commun d'être proportionnelles à la masse ou à la quantité de matière propre de chaque corps, elles sont pourtant essentiellement distinctes l'une de l'autre. La pesanteur n'exerce son action que dans un sens, de haut en bas: toutes les fois qu'un corps tombe librement, il tombe perpendiculairement à l'horizon. Mais la force d'inertie résiste dans quelque sens qu'on fasse effort pour changer l'état d'un corps.

43. Tout corps, considéré précisément comme corps, est essentiellement indifférent au repos ou au mouvement, à un mouvement plus prompt ou plus lent. L'effet nécessaire de cette indifférence est de faire persévérer le corps dans l'état où il se trouve. En effet, si un corps est en repos, il ne se met point en mouvement s'il n'y a une force positive qui l'y oblige. S'il est en mouvement, il n'est point réduit au repos sans un obstacle qui l'arrête; il ne se meut point plus promptement ou plus lentement, sans une cause qui ajoute ou qui retranche au mouvement qu'il a déjà. Il y a donc une force résidante dans les

corps, par laquelle ils tendent à persévérer dans l'état où ils sont ; c'est cette force qu'on appelle *force d'inertie*, et c'est par elle qu'ils résistent à tout changement d'état.

Supposons un corps A, (*pl.* 1. *fig.* 2.) d'une grandeur et d'un poids déterminés ; par exemple, une boule de plomp pesant un kiliogramme, suspendue librement dans un air tranquille par un fil fort long CA, et une autre boule de plomb B, de même poids, pareillement suspendue par un fil CB. L'expérience prouve, comme nous le ferons voir en parlant du mouvement d'oscillation (258), que si l'un de ces corps, A, par exemple, est élevé à 4 degrés de la ligne verticale CB, et qu'on l'abandonne à lui-même, s'il ne rencontre en chemin aucun obstacle, lorsqu'il sera parvenu au point le plus bas B, il aura acquis par sa chûte une vitesse qui le portera à 4 degrés du côté opposé. Mais si le corps A rencontre au point le plus bas le corps B, qui l'égale en masse, et qu'il le heurte, l'expérience prouve encore que ces deux corps ne remontent ensemble qu'à 2 degrés. Le corps B reçoit une portion du mouvement du corps A, et ce dernier perd par le choc ce que l'autre paroît avoir acquis. Le corps B oppose donc une résistance au corps A ; car sans elle ce dernier seroit remonté à 4 degrés. Un corps en repos fait donc une résistance réelle à l'effort qui tend à le mouvoir. De plus, si le corps B, au lieu de ne peser qu'un kiliogramme, en pesoit huit ou dix, il seroit moins déplacé par le choc du corps A, et cela proportionnellement à l'augmentation de sa masse ; donc un corps en repos oppose à l'effort qui tend à le mouvoir, une résistance proportionnelle à sa masse. C'est cette résistance qu'on appelle *force d'inertie*.

44. On fait à ce raisonnement des objections auxquelles il faut répondre. On prétend que c'est la résistance de l'air qui est la cause de celle du corps B. Le corps B, dit-on, en repos, ne résiste à l'effort du corps A, que parce qu'il est appuyé par l'air qui l'environne, et qu'il faut déplacer. On peut répondre à cela, 1°. que les corps qui sont ainsi choqués dans le vide d'air, résistent de même que dans l'air, ou, s'il y a des différences, elles ne sont pas sensibles : ce n'est donc pas de l'air que vient cette résistance; 2°. que la résistance de l'air fait elle-même partie de la question présente; car il s'agit ici de la force d'inertie des corps en général. Si donc l'on convient que l'air, en qualité de matière, fait resistance au mouvement des corps qui tendent à le déplacer (et l'on ne peut pas en disconvenir), il est prouvé que l'air a une force d'inertie. Si l'air, en qualité de matière, a une pareille force, pourquoi les autres matières n'en auroient-elles pas? 3°. Si la résistance que fait le corps B en repos, à l'effort du corps A, venoit uniquement de celle de l'air sur lequel il s'appuie, il faudroit, pour rendre cette résistance double, faire répondre le corps B à un volume d'air une fois plus grand, et par conséquent doubler sa surface antérieure. Or l'expérience prouve que, pour rendre double la résistance du corps B, il suffit de doubler son poids; ce qui, sur-tout dans les corps sphériques, ne double pas la surface, à beaucoup près. Il est donc évident que la résistance de la boule B ne vient point de celle de l'air.

45. On objecte encore que la force d'inertie est la même chose que la pesanteur, en disant que c'est la pesanteur de la boule B qui s'oppose à son déplace-

ment ; car, dit-on, si elle n'est retenue par aucun obstacle, elle tiendra le fil auquel elle est suspendue, aussi tendu qu'il peut l'être, et dans la situation verticale C B, et se placera au point le plus bas. On ne peut donc l'en faire sortir sans qu'elle soit plus élevée ; si on la porte en 2, elle est plus élevée de la quantité B F ; en 4, de la quantité B E, etc. Pour cela, il faut vaincre sa pesanteur, qui fait effort pour la retenir au point B : on conclut de là que ce que l'on appelle *force d'inertie*, est la même chose que la pesanteur. Il faut avouer que cette objection est spécieuse, cependant elle tombera d'elle-même, si l'on fait attention que, lorsque la boule est au point le plus bas B, sa pesanteur est réduite à zéro, parce qu'elle est totalement vaincue par le fil C B qui la tient suspendue : l'effort de sa pesanteur ne peut donc commencer à se faire sentir, que lorsqu'elle est passée du point le plus bas à un point plus élevé ; son déplacement doit donc précéder l'effort de sa pesanteur. Mais pour opérer ce déplacement, il faut employer une force réelle, qui, si elle est trop petite pour déplacer la boule, n'en est pas moins une force réelle, et cependant n'a point d'effet. Dans ce cas-là, la boule B résiste donc à une force réelle, et la détruit avant de pouvoir agir comme pesante ; elle résiste donc par une force indépendante de sa pesanteur, et c'est cette force qu'on appelle *force d'inertie*.

Voici de plus un raisonnement qui ne permet pas de confondre les effets de l'inertie avec ceux de la pesanteur. Supposons deux corps en tout semblables, de même matière, de même figure, de même volume et de même poids, qui commencent à tomber librement dans le vide, de la même hauteur, et tous deux

dans le même instant. Il est indubitable que ces deux corps obéiront complètement à leur pesanteur, qu'ils descendront tous deux avec la même vîtesse, et avec toute la vîtesse qu'exige leur pesanteur, et qu'ils arriveront tous deux ensemble sur le plan qui termine leur chûte. Si l'on veut que l'un des deux précède l'autre dans sa chûte, il faut à l'effort de sa pesanteur ajouter une autre force; il faut lui donner une nouvelle impulsion, qu'il ne peut pas recevoir de sa pesanteur, puisque nous supposons qu'il lui obéit complètement. Or tout ce qui exige une force pour être produit, est une véritable résistance. Ce corps qui, en tombant librement, obéit complètement à sa pesanteur, résiste donc à un mouvement plus prompt que celui qui lui vient de sa pesanteur: il y résiste donc par une force indépendante de sa pesanteur. C'est cette force qu'on appelle *force d'inertie*.

CHAPITRE II.

Du Mouvement et de ses Lois.

46. Le *mouvement* est l'état d'un corps qui est actuellement transporté d'un lieu dans un autre, soit en totalité, soit eu égard seulement à ses parties. Un corps peut être en mouvement de deux façons, ou en totalité, comme un carrosse tiré par des chevaux, ou un bateau que le courant de la rivière emmène; l'un et l'autre changent continuellement

de place et de rapports avec les objets qui les avoisinent : ou seulement eu égard à ses parties, comme les ailes d'un moulin qui tournent dans le même lieu; car chacune de leurs parties passe successivement par tous les points de la circonférence du cercle qu'elle décrit. Un corps se meut donc toutes les fois qu'il change de rapport ou de situation respectivement aux objets qui l'environnent, soit de près, soit de loin. Par exemple, un homme assis dans un carrosse qui chemine, change continuellement de rapports, sinon avec la caisse du carrosse ou les personnes qui l'accompagnent, du moins à l'égard des différens lieux qu'il parcourt. Ainsi, quoiqu'il soit fort tranquille, on ne peut pas dire qu'il soit en repos.

Si je trouve à ma droite un objet que j'avois à ma gauche, je conclus qu'il y a eu un mouvement; car les rapports sont changés. Mais si rien ne m'indique lequel des deux, l'objet ou moi, s'est mû; si c'est l'objet qui a passé de ma droite à ma gauche, ou si c'est moi qui me suis tourné, je ne puis pas le savoir certainement : je ne puis que présumer l'un ou l'autre. Voilà pourquoi on a été si long-temps à savoir si c'étoit le soleil qui tournoit autour de la terre, ou la terre qui tournoit devant le soleil; car, dans l'un ou l'autre cas, les apparences sont les mêmes. Il a donc fallu d'autres moyens pour nous apprendre que c'est la terre qui tourne devant le soleil : nous verrons dans la suite quels sont ces moyens.

47. Il y a plusieurs sortes de mouvemens; savoir, le *mouvement absolu* et le *mouvement relatif*, le *mouvement simple* et le *mouvement composé*, le *mouvement rectiligne* et le *mouvement curviligne*, le *mouvement réfléchi* et le *mouvement réfracté*. Avant

de parler de ces différentes espèces de mouvemens, il faut prendre quelques notions préliminaires et générales pour toutes.

48. Il y a plusieurs choses à considérer dans un corps qui se meut ; savoir, 1°. la force motrice qui imprime le mouvement à ce corps ; 2°. la masse de ce corps par laquelle il résiste à la force qui tend à le faire sortir de son état ; 3°. la direction que prend ce corps dans son mouvement, soit qu'il soit simple, soit qu'il soit composé ; 4°. l'espace que ce corps parcourt ; 5°. le temps que ce corps emploie à parcourir cet espace ; 6°. la vîtesse du mouvement de ce corps, c'est-à-dire, le rapport de l'espace que ce corps parcourt, et du temps qu'il emploie à le parcourir ; 7°. la quantité du mouvement de ce corps.

1. *Force motrice.*

49. 1°. Tous les corps, par leur inertie, résistent à toute variation d'état (41). Un corps qui est en repos ne se mettra donc jamais en mouvement, s'il n'y a une cause suffisante qui lui imprime ce mouvement. Cette cause active qui imprime, ou qui du moins tend à imprimer le mouvemeut au corps, est ce qu'on appelle la *force motrice*. Il n'y a donc point de mouvement sans force motrice suffisante pour l'imprimer. On appelle *force motrice*, celle d'un ou de plusieurs corps employés pour en mouvoir d'autres. Telle est une impulsion donnée à un corps pour le faire avancer dans une direction quelconque.

Jusqu'à *Leibnitz*, on avoit toujours pensé que cette force, en toutes sortes de cas indistinctement, devoit être évaluée par le produit de la masse du moteur,

multipliée par sa vîtesse. Mais *Leibnitz* a le premier établi une distinction entre la force motrice qui agit contre un obstacle invincible, et celle qui agit contre un obstacle qui cède. Il appelle la première *force morte*, et convient, avec tous les physiciens, qu'elle doit être évaluée en multipliant la masse par la simple vîtesse. Il appelle la dernière *force vive*, et il prétend que, pour l'estimer selon sa juste valeur, il faut multiplier la masse, non pas par la vîtesse simple, mais par le quarré de la vîtesse: c'est-à-dire, que si la vîtesse est 3, par exemple, il ne faut pas multiplier la masse seulement par 3, mais par 9, qui est le quarré de 3. *Leibnitz* a rapporté, en faveur de son opinion, des raisonnemens et des expériences spécieuses, et il a trouvé des défenseurs parmi des physiciens très-éclairés; malgré cela, le grand nombre a regardé son opinion comme un paradoxe. Nous allons examiner cette question, en parlant de ces deux forces

Force morte.

50. La force morte est donc celle qui agit contre un obstacle invincible, qui consiste par conséquent dans une simple tendance au mouvement, et qui ne produit aucun effet sur l'obstacle sur lequel elle agit. Telle est par exemple, la force d'un corps pesant qui tend à descendre; mais qui est posé sur une table ou suspendu à une corde. Ce corps ne sauroit descendre, parce que la résistance de la table ou de la corde l'en empêche. Cependant il presse la table ou tend la corde, et il montre par-là sa tendance au mouvement, qui ne peut avoir d'effet tant que ces obstacles invincibles s'y opposent. Cette pression du

corps

corps pesant est donc sans effet dans ces deux cas, ou plutôt les effets qu'elle produit, c'est-à-dire, la tension de la corde et la pression de la table sont des effets qui n'épuisent point la cause pressante. Ainsi cette cause pressante ne perd rien de sa force, parce qu'elle ne la déploie point; mais elle tend seulement à la déployer. Lors donc que les obstacles sont invincibles, l'action de la force qui tend à les déplacer est à tout moment détruite par ces obstacles, et à tout moment reproduite par l'effort continuel que fait la force pressante pour vaincre cette résistance. Ainsi les petits degrés que la force pressante imprime à l'obstacle qui retient son action, périssent en naissant, et naissent en périssant; et c'est dans ce retour de production et de destruction que consiste l'effet de la pesanteur d'un corps, lorsqu'il est retenu par un obstacle invincible. C'est cette pression, aussitôt détruite que produite, c'est cette force que la cause pressante tend à déployer sans succès, qu'on appelle *force morte*. La force morte d'un corps s'estime ou s'évalue, comme nous l'avons dit ci-dessus (49), par le produit de sa masse multipliée par sa vîtesse initiale, c'est-à-dire, par la vîtesse qu'il auroit dans le premier instant, si l'obstacle qui le retient venoit à céder.

Force vive.

§ I. La *force vive* est celle d'un corps actuellement en mouvement, qui agit contre un obstacle qui cède, et qui produit un effet sur lui. Telle est la force d'un corps qui en va heurter un autre avec une vîtesse déterminée, et qui, en conséquence de son choc, le lance à une certaine distance. Cette force, comme

nous l'avons dit ci-dessus (49), s'étoit toujours évaluée, ainsi que la force morte, par le produit de la masse multipliée par la vîtesse simple; mais *Leibnitz* a cru qu'il falloit l'estimer par le produit de la masse multipliée par le quarré de la vîtesse. Quelque opposée que fût cette opinion aux principes connus et adoptés de tous temps, elle a cependant trouvé des défenseurs. Cela a formé un procès littéraire, dont les pièces pour et contre se trouvent consignées en plusieurs ouvrages, sur-tout dans le XXIe et dernier chapitre d'un ouvrage *in*-8°. intitulé : *Institutions de physique*, qui est de madame la marquise *du Châtelet*, où elle a rassemblé tout ce qu'on peut dire en faveur des forces vives; et dans un autre ouvrage *in*-12, intitulé : *Dissertation sur l'Estimation et la Mesure des Forces motrices des corps*, par M. *de Mairan*, dans lequel il a fortement combattu l'opinion de *Leibnitz*. Les expériences apportées en preuve par l'un et l'autre parti, sont avouées de tout le monde; ainsi il n'y a de différent que relativement aux conséquences que chacun en tire.

En faveur des forces vives, on suppose, par exemple, deux boules A et B de même matière, de même masse et de même volume, qu'on laisse tomber librement de hauteurs convenables, l'une A pendant une seconde, et l'autre B pendant deux secondes, 1°. sur de la terre molle. Il est certain que la boule B fait dans cette terre molle un enfoncement quadruple de celui de la boule A, et que B déplace quatre fois autant de matière qu'en déplace A. 2°. On suppose que ces boules tombent des mêmes hauteurs et pendant les mêmes temps que ci-dessus sur un plan parfaitement élastique. Dans ce cas, en faisant abstraction de la

résistance du milieu, ces deux boules remontent, en vertu de la réaction, laquelle est égale à la compression (112), chacune pendant un temps égal à celui pendant lequel elle est descendue; savoir, A pendant une seconde, et B pendant deux secondes: mais B remonte à une hauteur quadruple de celle à laquelle remonte A. On dit que, dans ce cas-là, B ne reçoit que deux degrés de vîtesse, pendant que A en reçoit un; et cependant les effets que produit B, sont quadruples de ceux que produit A : B déplace quatre fois autant de terre qu'en déplace A; donc son impulsion sur la terre molle est quadruple de celle de A : B, en vertu de la réaction, remonte à une hauteur quadruple de celle à laquelle remonte A; donc sa compression sur le plan est quadruple de celle de A. D'où l'on conclut que les forces vives sont comme les quarrés des vîtesses, et non pas comme les simples vîtesses; et que, pour avoir leur juste valeur, il faut les estimer par le produit de la masse multipliée par le quarré de la vîtesse, et non pas par la vîtesse simple.

On a répondu à cela que, pour comparer avec exactitude les forces de deux corps, il faut que les circonstances soient égales de part et d'autre, et avoir une mesure commune, qui est le temps pendant lequel chaque mobile agit. Or la boule B, qui, avec une vîtesse double, produit un effet quadruple, ne le produit que dans un temps double; d'où l'on doit conclure que sa force n'est que double en temps égal, c'est-à-dire, en raison de la vîtesse simple, et non pas du quarré de la vîtesse. En effet, supposons que deux hommes, *Jacques* et *Jean*, sont en marche; que *Jacques* fait une lieue dans une heure, et que *Jean* fait quatre lieues dans deux heures. Il est évident que

l'effet produit par la force de *Jean* est quadruple de l'effet produit par la force de *Jacques*. Cependant on ne conclura pas de là que la force de *Jean* est quadruple de celle de *Jacques*; pour que cela fût, il faudroit que *Jean* parcourût quatre lieues dans le même temps que *Jacques* emploie à en parcourir une; ce qui n'est pas : il emploie un temps double. *Jean*, dans un temps égal, ne produit donc qu'un effet double de celui de *Jacques*, c'est-à-dire, en raison de sa vîtesse simple, et son effet total n'est quadruple que parce qu'avec une vîtesse double, il marche pendant un temps double. Ainsi l'effet que produit *Jean* est quadruple de celui que produit *Jacques*, non pas parce que 4 est le quarré de 2, mais parce que 2 fois 2 font 4. Aussi, quoique les sentimens soient partagés sur la manière d'évaluer les forces des corps en mouvement, ou ce qu'on a appellé les *forces vives*, on est parfaitement d'accord sur le produit de ces forces et sur les effets qui en doivent résulter. Tout le monde convient, avec les défenseurs des forces vives, que les effets sont quadruples de la part d'un corps qui se meut avec deux degrés de vîtesse par comparaison à celui qui n'en a qu'un; mais, comme nous venons de le dire, ce n'est pas parce que 4 est le quarré de 2, c'est seulement parce que le mobile, qui a deux degrés de vîtesse, fait un effort qui est répété deux fois autant que celui d'un mobile qui se meut avec un seul degré de vîtesse. Si donc on fait entrer en ligne de compte la considération des temps, on peut, sans erreur, estimer indistinctement dans la pratique la force des corps par le produit de la masse multipliée par la simple vîtesse actuelle, s'ils se meuvent réellement; et s'ils sont retenus par des obstacles invincibles, par

leur tendance au mouvement, qui est comme leur masse et leur vîtesse initiale, c'est-à-dire, celle avec laquelle ils commenceroient à se mouvoir, si l'obstacle venoit à céder. On peut aussi communément évaluer la force des corps en mouvement par le produit de la masse multipliée par le quarré de la vîtesse; l'opération est plus courte. Je dis *communément*, parce que cette manière d'évaluer les forces n'est pas applicable dans tous les cas, comme, par exemple, dans ceux où les corps vont se heurter par des mouvemens en sens contraire, ainsi que le prouve M. *de Mairan*, par une expérience qu'il rapporte contre les forces vives, et dont le résultat est reconnu et avoué des deux partis; ce qui prouve bien le défaut de l'opinion de *Leibnitz*.

Cette expérience est celle de deux corps mous, ou à ressort, qui viennent se choquer par des mouvemens en sens contraires, et avec des vîtesses qui sont entr'elles en raison inverse de leurs masses; car on sait qu'il en résulte le repos, si les corps sont mous et sans ressort (145), et un retour en arrière après le choc, avec les mêmes vîtesses qu'avant le choc, si les corps ont un ressort parfait (153); ce qui prouve qu'ils se choquent avec des forces égales. Cela n'arriveroit pas ainsi, si les forces étoient comme les quarrés des vîtesses; le corps, par exemple, qui auroit 6 de vîtesse avec 2 de masse, et par conséquent 72 de force, devroit nécessairement emporter celui qui, avec 6 de masse, n'auroit que 2 de vîtesse, et par-là seulement 24 de force.

On a répondu à cela que ce triple de force qu'a le corps qui se meut avec 6 de vîtesse, est consumé par les enfoncemens et les déplacemens de matière qu'il

fait sur celui qui n'a que 2 de vîtesse. Mais, dit M. *de Mairan*, quel est le point d'appui des efforts nécessaires pour produire ces enfoncemens et cette introcession de matière? qu'est-ce qui les soutient par une réaction égale à l'action, n'est-ce pas le centre de gravité de la masse triple, qui n'a que 2 de vîtesse? cette masse elle-même ne consume-t-elle pas autant de sa force à soutenir les efforts de ces déplacemens, que le corps choquant perd de la sienne à les produire; et ce qu'elle en consume ne la dispose-t-il pas d'autant à céder? Il n'y a donc point d'efforts perdus à cet égard, ou plutôt ceux qui sont perdus d'une part, sont communiqués de l'autre par un échange réciproque. Ainsi la masse inférieure en force devroit être entraînée.

Ceci devient encore plus évident dans le cas des corps à ressort; car les enfoncemens et les applatissemens qu'ils souffrent mutuellement dans le choc, sont, en vertu du rétablissement qui leur succède, la source même de la force nécessaire pour retourner en arrière avec les mêmes vîtesses après le choc qu'ils avoient avant le choc. Donc, si les forces étoient comme les quarrés des vîtesses, celui qui n'avoit que 2 de vîtesse et 6 de masse, seroit repoussé en arrière par le choc de celui qui avoit 2 de masse et 6 de vîtesse, avec plus de force ou de vîtesse qu'il n'en avoit avant le choc; ce qui est contraire à l'expérience.

On pourra donc évaluer les forces motrices en multipliant les masses, ou par la vîtesse simple, en y ajoutant la considération des temps, ou par le quarré de la vîtesse, hors les cas où les corps vont se choquer par des mouvemens en sens contraires.

2. *Masse des corps.*

§2. 2°. Les corps résistent également au mouvement et au repos par leur force d'inertie (41) : cette force est proportionnelle à leur *masse*, ou à la quantité de matière qu'ils contiennent, puisqu'elle appartient à chaque partie de la matière. Un corps résiste donc d'autant plus au mouvement qu'on tend à lui imprimer, qu'il a plus de masse, toutes choses d'ailleurs égales. Ainsi, plus un corps a de masse, moins il acquiert de vîtesse par la même impulsion : les vîtesses des corps qui éprouvent des impulsions égales, sont donc en raison inverse de leurs masses.

3. *Direction des mouvemens.*

§3. 3°. Il n'y a point de mouvement sans une détermination particulière : ainsi tout corps qui se meut, tend vers quelque point; et c'est cette tendance qu'on appelle *direction*. Si ce corps n'obéit qu'à une seule force, ou à plusieurs semblablement dirigées, il se meut d'un mouvement simple, et il ne tend qu'à un seul point. Si plusieurs puissances, différemment dirigées, le commandent en même temps, il tend à plusieurs points; mais comme il ne peut pas aller vers plusieurs points tout-à-la-fois, son mouvement se compose, il prend une direction moyenne entre celles des puissances auxquelles il obéit (160) : alors il se comporte comme un corps qui se meut d'un mouvement simple; il ne tend plus qu'à un seul point. La ligne tirée de ce corps au point vers lequel il tend, soit qu'il se meuve d'un mouvement simple, soit qu'il se meuve d'un mouvement composé, représente la

direction du mouvement de ce corps ; et s'il se meut, il parcourra certainement cette ligne, à moins que son mouvement ne soit composé de puissances dont les rapports changent (168); auquel cas, il parcourra une ligne courbe, laquelle est cependant elle-même composée de lignes droites, infiniment courtes et insensiblement inclinées entr'elles, et formant ensemble des angles fort obtus.

4. *Espace parcouru.*

54. 4°. L'*espace* que parcourt un corps, est la ligne décrite par ce corps pendant son mouvement. Si le corps qui se meut étoit un point, l'espace parcouru ne seroit qu'une ligne mathématique ; mais comme il n'y a point de corps qui ne soit étendu (6), l'espace parcouru a toujours quelque largeur; malgré cela, quand on mesure cet espace parcouru par un corps, on ne fait attention qu'à sa longueur, qui peut être plus ou moins grande.

5. *Temps employé.*

55. 5°. Un corps emploie nécessairement un *temps* quelconque à parcourir un espace. Si le corps A (*fig.* 3) parcourt l'espace A B, il s'écoulera une portion de temps pendant qu'il ira de A en B, quelque petit que l'espace A B puisse être; car le moment où ce corps sera en A, ne sera pas celui où il sera en B, un corps ne pouvant être en deux lieux à la fois. Ainsi tout espace parcouru l'est en un temps quelconque, qui peut être plus ou moins long.

6. *Vîtesse.*

56. 6°. La *vîtesse* d'un corps qui se meut, est la faculté qu'il a de parcourir un certain espace en un certain temps. Plus cet espace est grand et ce temps court, plus la vîtesse est considérable. La vîtesse d'un corps est donc le rapport qu'il y a entre l'espace qu'il parcourt et le temps qu'il emploie à le parcourir. Il n'y a donc point de mouvement sans un vîtesse quelconque. Pour connoître cette vîtesse, il ne s'agit que de diviser l'espace par le temps; de même qu'on connoîtra l'espace, en multipliant la vîtesse par le temps. Par exemple, un corps parcourt 1000 mètres en 10 minutes; sa vîtesse est de 100 mètres par minute, parce que 100 est le quotient de 1000, divisé par 10. Si l'on compare les vîtesses de deux corps, on en aura le rapport en suivant la même règle. Supposons, par exemple, qu'un corps A parcourt 54 mètres en 9 minutes, et qu'un corps B en parcoure 96 en 6 minutes; la vîtesse du corps A est à celle du corps B comme 6, quotient de 54 divisés par 9, est à 16, quotient de 96 divisés par 6.

Il suit de là que deux corps qui parcourent des espaces inégaux en temps inégaux, ont leurs vîtesses comme les espaces parcourus, divisés par les temps employés à les parcourir, comme dans l'exemple ci-dessus. Si ces deux corps parcourent des espaces inégaux en temps égaux, leurs vîtesses sont entr'elles en raison directe des espaces parcourus : si le corps A, par exemple, parcoure 200 mètres en 2 minutes, et que le corps B ne parcoure que 100 mètres dans le même temps, leurs vîtesses sont entr'elles comme 200 est à 100, ou comme 2 est à 1. Mais si ces deux

corps parcourent des espaces égaux en tems inégaux, leurs vîtesses sont entr'elles en raison inverse des temps employés à les parcourir : si les deux corps A et B parcourent 200 mètres; savoir, A en 1 minute, et B en 2 minutes, la vîtesse de A est à celle de B, comme 2 est à 1, en raison inverse des temps.

La vîtesse d'un corps qui se meut, peut être ou uniforme, ou accélérée, ou retardée.

57. La vîtesse de ce corps est *uniforme*, s'il parcourt des espaces égaux en temps égaux. Supposons, par exemple, un corps qui parcourt un mètre dans une seconde, un autre mètre dans la seconde suivante, encore un mètre dans la troisième seconde, et ainsi de suite; de façon que les temps et les espaces parcourus en chaque temps soient toujours égaux entr'eux : ce corps a uue vîtesse uniforme. On conçoit aisément que cette uniformité de vîtesse est possible; mais elle est très-rare dans l'état naturel, à cause des obstacles inévitables qui apportent à chaque instant quelque changement aux mouvemens des corps (76 et 96).

58. La vîtesse d'un corps est *accélérée*, si, pendant des temps égaux et successifs, il parcourt des espaces qui vont toujours en augmentant de plus en plus, ou s'il parcourt des espaces tous égaux entr'eux, mais dans des temps qui décroissent de plus en plus. Telle est la vîtesse d'uu corps qui tombe librement, et qui va plus vîte vers la fin de sa chûte qu'au commencement (214).

59. La vîtesse d'un corps est *retardée*, si, dans des temps égaux et successifs, il parcourt des espaces qui vont toujours en décroissant de plus en plus; ou s'il parcourt des espaces tous égaux entr'eux, mais

dans des temps qui augmentent de plus en plus. Telle est, par exemple, la vîtesse d'une boule qui roule sur le terrein, et qui se ralentit peu à peu jusqu'à ce que la boule soit réduite au repos.

On distingue encore la vîtesse des corps en vîtesse absolue, vîtesse relative et vîtesse respective.

60. La vîtesse *absolue* est celle d'un corps, considérée en elle-même, et sans aucun rapport avec la vîtesse d'un autre corps, comme lorsqu'on considère la vîtesse d'un cheval qui fait quatre lieues en deux heures de temps. Sa vîtesse est de deux lieues par heure. La vîtesse propre on absolue d'un corps est donc le rapport de l'espace qu'il parcourt, et du temps qu'il emploie à le parcourir.

61. La vîtesse *relative* est celle d'un corps comparée avec celle d'un autre corps, comme lorsqu'on compare les vîtesse de deux chevaux qui parcourent le même nombre de lieues, mais dont l'un met plus de temps que n'en met l'autre à parcourir cet espace. Leurs vîtesses sont entr'elles en raison inverse des temps employés (56). Ainsi, si l'un y employoit 1 heure et l'autre 2 heures, la vîtesse du premier seroit à celle du second, comme 2 est à 1. Si ces deux chevaux marchoient pendant le même temps, mais que l'un des deux fît plus de chemin que l'autre, leurs vîtesses seroient alors en raison directe des espaces parcourus (56). Ainsi, si l'un parcouroit un espace double de celui que l'autre parcourt, sa vîtesse seroit double de celle de l'autre.

62. La vîtesse *respective* est celle avec laquelle l'espace qui sépare deux corps est parcouru, ou par l'un des deux entièrement, ou en partie par l'un et en partie par l'autre, c'est-à-dire, soit que l'un des

deux corps reste en repos, tandis que l'autre parcourt l'espace entier; soit qu'ils se meuvent tous deux dans le même sens ou en sens contraire, avec des vîtesses égales ou inégales. De sorte que si deux corps A et B (*fig.* 4) distant de 4 mètres, se joignent en 1 seconde, la vîtesse respective de ces deux corps est toujours la même, soit que A seul parcoure l'espace entier; soit que B venant à lui, il le rencontre, par exemple, en 3; soit que B allant dans le même sens que A, B parcoure, par exemple, 3 mètres pendant que A en parcourt 7, etc. pourvu que, dans tous les cas, les deux corps se joignent en 1 seconde exactement. Ce qui fait voir clairement qu'il ne faut pas confondre la vîtesse respective avec la vîtesse absolue ou propre de chaque corps (60); car, dans le premier cas seulement, la vîtesse absolue de A est la même que la vîtesse respective, c'est-à-dire, de 4 mètres par seconde, et la vîtesse absolue de B est zéro. Mais, dans le second cas, la vîtesse absolue de A est de 3 mètres; celle de B, de 1 mètre; et la vîtesse respective, de 4 mètres par seconde. Dans le troisième cas, la vîtesse absolue de A est de 7 mètres; celle de B, de 5 mètres; et la vîtesse respective, toujours de 4 mètres par seconde.

On appelle aussi, et dans le même sens, *vîtesse respective*, celle avec laquelle deux corps s'éloignent l'un de l'autre d'un certain espace dans un temps déterminé, quelles que soient leurs vîtesses absolues.

7. *Quantité du mouvement.*

63. 7°. La *quantité du mouvement* d'un corps s'estime ou s'évalue en multipliant la masse de ce

corps par sa vîtesse, car elle y est proportionnelle; en sorte que le même corps a plus de mouvement quand il a ou plus de masse ou plus de vîtesse; ou, ce qui est la même chose, de deux corps dont les masses sont égales, celui qui a le plus de vîtesse a le plus de mouvement; et de deux corps dont les vîtesses sont égales, celui qui a le plus de masse a le plus de mouvement : car la vîtesse imprimée à un corps quelconque appartient à chaque partie de ce corps; et si elles se désunissoient, chacune continueroit de se mouvoir avec le même degré de vîtesse qui a été imprimé au corps entier, abstraction faite des obstacles, qui augmentent en conséquence de la division. Supposons, par exemple, qu'un corps A qui a 4 de masse, et un corps B qui a 2 de masse, se meuvent chacun avec 6 degrés de vîtesse : on peut concevoir le corps A, divisé en 2 parties égales, se mouvant avec ces 6 degrés de vîtesse : chacune de ces parties a donc une quantité de mouvement égale à celle du corps B, puisqu'elle a la même masse et la même vîtesse. Ces deux parties, réunies pour former le corp A, ont donc une quantité de mouvement double de celle du corps B, par la raison que la masse est double. On concluroit la même chose si, les deux masses étant égales, le corps A avoit une vîtesse double de celle du corps B. On a donc le rapport des quantités du mouvement de deux corps, en multipliant la masse de chacun par sa vîtesse, soit que leurs masses et leurs vîtesses soient égales ou non. Supposons, par exemple, un corps A qui a 4 de masse et 6 de vîtesse, et un corps B qui a 7 de masse et 5 de vîtesse; la quantité du mouvement du corps A est à celle du corps B, comme 24, produit de 4 de

masse, multipliés par 6 de vîtesse, est à 35, produit de 7 de masse, multipliés par 5 de vîtesse. En général, *la quantité du mouvement d'un corps est en raison composée de sa masse et de sa vîtesse.*

64. Un corps qui se meut, peut en mouvoir d'autres, et cela d'autant mieux, qu'il a une plus grande quantité de mouvement; et comme cette quantité de mouvement est relative à sa masse et à sa vîtesse (63), et qu'elle croît autant par l'une que par l'autre, on peut aussi compenser l'une par l'autre, suivant les circonstances; car un corps qui a peu de masse, fait autant d'effort avec beaucoup de vîtesse, qu'un autre en feroit avec moins de vîtesse, s'il avoit plus de masse. Tout le monde sait qu'avec un petit marteau, qu'on fait agir promptement, on enfonce autant le même clou, qu'on le feroit avec un gros marteau qui agiroit lentement.

Mouvement absolu.

65. Le mouvement absolu est le changement de rapport de situation d'un corps respectivement à tous les autres corps qui l'avoisinent ou qui l'entourent. Tel est le mouvement d'un homme qui va d'un lieu à un autre; il change continuellement de rapport de situation respectivement aux différentes parties du terrein qu'il parcourt.

Mouvement relatif.

66. Le mouvement relatif est le changement de rapport de situation d'un corps relativement à certains corps qui l'environnent, soit de près, soit de loin; et non pas relativement à d'autres. Un corps

peut être en repos relativement à quelques-uns des corps qui l'entourent, et en mouvement relativement à d'autres corps. Par exemple, un homme immobile dans un vaisseau qui fait route, est en repos relativement au vaisseau et à ce qu'il contient; mais il est en un *mouvement relatif*, eu égard au rivage. Si cet homme, au lieu de se tenir en repos dans le vaisseau, s'y promenoit, il seroit en un mouvement relatif respectivement au vaisseau et respectivement au rivage; car cet homme, par son mouvement propre, changeroit de situation avec les différentes parties du vaisseau; et par son mouvement commun avec le vaisseau qui le transporte, il changeroit de situation avec les corps qui sont sur le rivage. Cependant, si cet homme, tandis que le vaisseau cingle, marche de la proue à la poupe avec une vîtesse égale à celle avec laquelle le vaisseau avance; c'est-à-dire, s'il parcourt la longueur du vaisseau dans le même temps que le vaisseau emploie à avancer d'une pareille quantité et en sens contraire, cet homme est bien en mouvement relativement au vaisseau; mais il n'y est pas relativement au rivage: car il répond toujours au même point, et quelqu'un qui du rivage regarderoit cet homme, le verroit toujours correspondre au même point du rivage opposé.

Mouvement simple.

67. Le mouvement simple est celui d'un corps qui n'est dirigé que vers un seul point, soit que ce corps soit poussé ou tiré par une seule puissance, soit qu'il y en ait plusieurs qui le poussent ou le tirent dans la même direction. Un *mouvement simple* est

donc l'effet d'une seule impnlsion, ou de plusieurs qui agissent ensemble ou successivement dans la même direction. Tel est celui d'un corps grave, qui n'est commandé que par sa pesanteur, laquelle le fait descendre par une ligne perpendiculaire à l'horizon. Tel est encore celui d'une voiture tirée par six chevaux.

Mouvement composé.

68. Le mouvement composé est celui d'un corps qui est déterminé à se mouvoir par plusieurs puissances qui agissent en même temps et selon des directions différentes, et qui font angle ensemble, ou qui se croisent au mobile. Un *mouvement composé* est donc l'effet de plusieurs impulsions qui agissent en même temps, et dont les directions se croisent. Tel est celui d'un bateau A E (*fig.* 5) qui suit la direction d'un canal A B, en obéissant en même temps à l'effort de deux hommes C, D, qui, placés chacun sur un des rivages, tirent le bateau, l'un par le moyen de la corde E C, et l'autre par le moyen de la corde E D. Ce bateau suit, en vertu de ces deux puissances, la direction E B.

Nous reviendrons en détail sur ce mouvement (159), qui se rencontre très-souvent dans la nature.

Mouvement rectiligne.

69. Le mouvement rectiligne est celui qui se fait en ligne droite. Il a toujours lieu dans les mouvemens simples (67). Il a lieu aussi dans les mouvemens composés, lorsque les puissances qui les produisent, persévèrent dans les mêmes rapports entre elles pendant toute la durée du mouvement, soit que

ces

ces puissances ne souffrent aucun changement, soit que les changemens soient égaux ou proportionnels de part et d'autre (161).

Mouvement curviligne.

70. Le mouvement curviligne est celui qui se fait en ligne courbe. Tels sont tous les mouvemens composés (68), produits par des puissances qui, agissant ensemble, changent à chaque instant de rapports, soit quant à la direction, soit quant à l'intensité ou à la force.

Mouvement réfléchi.

71. Le mouvement réfléchi est celui d'un corps qui rencontre un obstacle impénétrable pour lui, tel qu'un mur, un rocher, etc. lequel l'oblige à rebrousser chemin, et le fait rejaillir après le choc. Tel est le mouvement d'une balle de paume, qui, après avoir touché le mur vers lequel on la lance, rejaillit vers celui qui l'a lancée.

Mouvement réfracté.

72. Le mouvement réfracté est celui d'un corps qui passe obliquement d'un milieu dans un autre, plus ou moins résistant que le milieu d'où il sort, et dont le plus ou le moins de résistance oblige le corps de quitter sa première direction. Tel est le mouvement d'un corps qui passe de l'air dans l'eau, ou de l'eau dans l'air, en se présentant obliquement un plan qui sépare les deux milieux. On voit par-là que, pour que le *mouvement réfracté* ait lieu, deux choses sont absolument nécessaires; savoir, le changement de

milieu et l'obliquité d'incidence sur le plan qui sépare ces deux milieux.

Loix du Mouvement.

73. On appelle *loix du mouvement*, certaines règles suivant lesquelles les corps se meuvent quand ils agissent les uns sur les autres.

Il y a deux sortes de mouvemens; savoir, le *simple* (67) et le *composé* (68), dont tous les autres mouvemens, dont nous venons de parler, ne sont que des espèces particulières. En établissant les loix de ces deux mouvemens, nous aurons donc établi celles des autres: il ne restera plus qu'à ajouter quelques particularités, dont nous parlerons dans la suite.

I. *Loi du mouvement simple.*

74. *Tout corps qui est une fois mis en mouvement, doit continuer de se mouvoir dans la direction et avec le degré de vîtesse qu'il a reçu, si son état n'est changé par quelque cause nouvelle.*

Si donc ce corps quitte la ligne droite qu'il a commencé à décrire, si sa vîtesse s'accélère ou se ralentit, ces changemens viennent certainement d'une cause particulière qui le détermine autrement, qui ajoute ou qui retranche à sa vîtesse, sans quoi la première cause ne cesseroit pas d'avoir pleinement son effet; car tous les corps ont une force d'inertie (41), par laquelle ils résistent à toutes variations d'état, et cette résistance ne peut être détruite que par une puissance qui lui soit opposée. Sans cette puissance, la loi auroit donc son effet.

75. Mais on peut objecter que cette loi assigne

aux corps en mouvement une constance de direction et de vitesse qui ne se rencontre jamais ; car tout mouvement se ralentit ; et tout mobile revient en repos, après un temps plus ou moins long.

Il est bien vrai qu'aucune expérience ne prouve directement l'énoncé de cette loi. Mais, 1°. tout corps, en tel état qu'il soit, tend à y persévérer par sa force d'inertie (41) : ce principe seul suffit pour prouver que la loi dont il s'agit existe dans la nature. 2°. Si les corps perdent toujours leur mouvement après un certain temps, c'est qu'il y a toujours des obstacles qui le leur font perdre ; car, 1°. les corps, dans quelque endroit et de quelque manière qu'on les fasse mouvoir, se trouvent toujours plongés dans quelque fluide qui, à cet égard, se nomme *milieu*, et qu'ils sont obligés de déplacer sans cesse pour se faire un passage ; et comme ce milieu est matériel, et par conséquent impénétrable (11), il fait une continuelle résistance au mobile qui tend à le déplacer. Ce mobile ne peut donc continuer de se mouvoir, qu'en employant à chaque instant une partie de son mouvement pour vaincre cette résistance : ainsi, après un certain temps, il a tout employé, et se trouve réduit au repos. 2°. Tous les corps étant pesans (198), aucun d'eux ne peut se mouvoir, qu'il ne soit soutenu ou par une suspension, ou par un plan, ou du moins qu'il ne glisse dans quelque fluide qui le touche de toutes parts. De quelque manière qu'on s'y prenne, il faut toujours qu'il passe par les différens points de la surface du plan qu'il parcourt ou du fluide qu'il divise. Cette application successive de surface à surface se nomme *frottement*, et apporte une résistance au mouvement. Or ces deux résistances, celles des

milieux et celle qui vient des frottemens, sont, comme l'on voit, tellement liées à l'état naturel, qu'elles sont absolument inévitables. Si ces résistances cessoient d'exister, notre première loi auroit certainement son plein et entier effet. Un corps qui seroit une fois mis en mouvement dans le vide absolu, s'il étoit possible, continueroit donc à se mouvoir pendant l'éternité dans ce vide, et y parcourroit à jamais des espaces égaux en temps égaux, puisque là aucun obstacle ne consumeroit la force de ce corps, ni en tout, ni en partie.

Comme nous sommes souvent intéressés à connoître la quantité de mouvement qui reste à un corps, déduction faite de celle que lui ont fait perdre les résistances qui naissent et des milieux et des frottemens, voyons donc ce qu'on doit considérer, quand on veut évaluer ces résistances.

Résistances des Milieux ou des Fluides.

76. La résistance des milieux est l'obstacle que les fluides, au travers desquels les corps se meuvent opposent au mouvement de ces corps (75); car ces fluides ou milieux étant matériels, résistent, comme tous les autres corps, par leur inertie (11), aux efforts qui tendent à les déplacer. Cette résistance est proportionnelle à la masse (24) qui doit être déplacée. La valeur de cette masse dépend, 1°. de la densité du milieu; 2°. du volume qu'il en faut déplacer: donc, plus cette densité et ce volume sont grands, plus la résistance du milieu est considérable. Mais ce volume, qui doit être déplacé, se mesure par la surface antérieure du corps qui se meut, et par l'espace que ce corps parcourt dans un temps donné. Donc,

plus la surface antérieure et la vîtesse de ce corps sont grandes, plus est grande la masse déplacée du milieu, et par conséquent plus est grande sa résistance.

77. Pour évaluer cette résistance, *Newton* a donné une règle qui nous fournit du moins quelques notions. Il a démontré qu'un *corps sphérique* qui se meut dans un milieu tranquille, d'une densité égale à la sienne, perd la moitié de son mouvement en parcourant un espace égal à $\frac{3}{4}$ de son diamètre. Ce que cette sphère déplace du fluide, équivaut à un cylindre dont la base a pour diamètre celui de la sphère, et pour axe la ligne que son centre décrit, c'est-à-dire, $\frac{3}{4}$ du diamètre de la sphère. Or le cylindre est à la sphère de même diamètre comme 3 est à 2. Un cylindre dont la base a pour diamètre celui d'une sphère, et pour hauteur les $\frac{3}{4}$ de ce diamètre (supposant égales les densités de l'un et de l'autre), a donc une masse égale à celle de la sphère. Donc, dans ce cas-là la masse déplacée du fluide est à la masse du corps sphérique comme 8 est à 2, ou comme 4 est à 1. Par conséquent, quelle que soit la densité du milieu, ainsi que celle du corps sphérique qui s'y ment, toutes les fois que ce corps sphérique aura déplacé une masse de ce milieu qui égale quatre fois la sienne, il aura perdu la moitié de son mouvement.

78. Pour savoir donc quel espace un corps sphérique doit parcourir, par exemple, dans l'eau pour perdre la moitié de son mouvement, il faut connoître le rapport de la densité de ce corps à celle de l'eau. La densité de l'or pur est à celle de l'eau comme 192581 est à 10000; la densité du cuivre jaune est à celle de l'eau comme 83958 est à 10000; la densité du

plomb est à celle de l'eau comme 113523 est à 10000. D'où il suit qu'une sphère d'or, pour perdre la moitié de son mouvement, doit parcourir dans l'eau un espace égal à 51 fois et $\frac{1}{7}$ son diamètre; la boule de cuivre, un espace égal à 22 fois et $\frac{1}{7}$ son diamètre; et la boule de plomb, un espace égal à 30 fois et $\frac{1}{4}$ son diamètre. Nous avons supposé que le corps est sphérique; car, s'il avoit une autre figure, il éprouveroit une résistance différente; et pour perdre la moitié de son mouvement, il lui faudroit parcourir un espace ou plus ou moins grand, suivant la figure qu'il auroit, ou suivant celle de la surface qui, pendant le mouvement, seroit antérieure.

Jacques Bernoulli a démontré les théorêmes suivans.

79 Si un triangle isocèle est mu dans un fluide suivant la direction d'une ligne perpendiculaire à sa base, d'abord par sa pointe, ensuite par sa base, la résistance dans le premier cas sera à la résistance dans le second cas, comme le quarré de la moitié de la base est au quarré d'un des côtés. D'où l'on voit que plus l'angle du sommet du triangle sera aigu, moins grande sera la résistance.

80. La résistance d'un quarré mu suivant la direction de son côté est à la résistance de ce même quarré mu suivant la direction de sa diagonale, comme le côté est à la moitié de la diagonale.

81. La résistance d'un demi-cercle qui se ment par sa base, est à sa résistance, lorsqu'il se meut par son sommet, comme 3 est à 2. (L'expérience fait voir que c'est comme 3 à moins de 2.)

Ces règles peuvent être utiles jusqu'à un certain point dans la construction des vaisseaux.

82. Nous avons dit ci-dessus (76) que la résistance des milieux dépend de la quantité qu'on en déplace dans un temps donné, et que cette quantité est mesurée par la surface antérieure du corps qui se meut, et par le chemin qu'il parcourt pendant ce temps. Donc, plus cette surface est grande, plus la résistance est considérable. C'est pourquoi, lorsqu'un vaisseau a toutes ses voiles déployées, il donne plus de prise au vent. Il suit de là que le même corps, parcourant des espaces égaux dans le même temps, peut éprouver dans le même milieu des résistances plus ou moins grandes, suivant la manière dont il se présente au choc du milieu. On sait qu'on éprouve dans l'eau une plus grande résistance, en y faisant mouvoir sa main par le plat, que par le tranchant. C'est pourquoi le batelier fait agir sa rame par le plat, quand il cherche un point d'appui dans la résistance de l'eau; mais il la relève par le tranchant pour se moins fatiguer. Par la même raison, une règle plate qu'on fait mouvoir dans l'air, y éprouve une moindre résistance par son tranchant que par son plat. C'est encore pour cela qu'un corps entier conserve son mouvement mieux que s'il étoit divisé.

83. Cette résistance des milieux croît aussi à mesure que la vîtesse du mobile augmente; et elle ne croît pas simplement comme la vîtesse, mais à-peu-près comme le quarré de la vîtesse : de sorte que si l'on suppose deux corps égaux A et B, qui se meuvent tous deux dans le même milieu, et que A se meuve avec une vîtesse triple de celle de B, A éprouvera une résistance neuf fois aussi grande que celle qu'éprouvera B; car quand des corps semblables se meuvent à traver le même fluide avec des vîtesses

différentes, cette résistance croît en proportion du nombre des particules frappées dans un temps égal, et ce nombre est comme l'espace parcouru dans le même temps, c'est-à-dire, comme la vîtesse; mais de plus, elle croît en proportion de la force avec laquelle le corps heurte contre chaque partie, et cette force est comme la vîtesse du corps. Par conséquent, si la vîtesse est triple, la résistance est triple à cause du nombre triple de parties que le corps doit écarter: elle est aussi triple à cause du choc trois fois aussi fort dont elle frappe chaque particule. C'est pourquoi la résistance totale est neuf fois aussi grande, c'est-à-dire, comme le quarré de la vîtesse. Ainsi un corps qui se meut dans un fluide, est retardé, partie en raison simple de sa vîtesse, et partie en raison doublée de cette même vîtesse; et quand cette vîtesse est crue à un certain point, le corps frappe le fluide plus vîte qu'il ne peut céder, et ce fluide sert de point d'appui. Pourquoi, par exemple, les coups de rames font-ils avancer un bateau? et pourquoi le font-ils avancer d'autant plus vîte, qu'ils sont plus prompts et plus fréquens? C'est que, lorsqu'on frappe l'eau plus vîte qu'elle ne peut céder, elle devient, par cette lenteur à obéir, le point d'appui de la rame. Les poissons font avec leurs nageoirs et leur queue, les nageurs font avec leurs bras et leur jambes, ce que le batelier fait avec ses rames.

84. L'air étant matériel, est un milieu résistant comme les autres; à cela près qu'étant moins dense, il résiste moins. Pour qu'il serve de point d'appui, il faut donc le frapper ou plus vîte, ou en plus grand volume. Ausi les oiseaux qui volent long-temps et fort loin, comme les hirondelles, les oiseaux de

proie, plusieurs oiseaux aquatiques, etc. ont peu de corps, beaucoup de plumes, et les aîles fort grandes, afin de pouvoir frapper un plus grand volume d'air, et n'avoir pas besoin d'une grande vîtesse, qui les fatigueroit beaucoup. Ceux, au contraire, qui ont un vol plus court et moins fréquent, ont plus de chair, et des aîles par proportion plus petites : c'est pourquoi ils ont besoin de frapper l'air avec plus de vîtesse ; ce qui les fatigue et les empêche d'aller loin. Que l'on compare maintenant le poids d'un homme avec la force qu'il lui faudroit avoir dans les muscles des bras pour mouvoir des aîles d'une grandeur proportionnée à sa masse, et avec une vîtesse capable de le soutenir en l'air, et l'on jugera de la folie de ceux qui ont cherché les moyens de voler. Que l'on ne dise pas que les ballons nous ont prouvé ces moyens possibles : ce n'est pas le même cas, à beaucoup près. Un homme est soutenu en l'air par son ballon, qui est un corps plus léger qu'un pareil volume du fluide dans lequel il est plongé, et il y est soutenu sans avoir besoin d'employer aucune force.

85. La résistance qui vient de la cohésion des parties dans les fluides, excepté ceux qui sont glutineux, n'est guère sensible en comparaison de l'autre résistance, qui est en raison des quarrés des vîtesses. Plus la vîtesse est grande, plus les deux résistances sont différentes ; c'est pourquoi, dans les mouvemens rapides, il ne faut considérer que la résistance, qui est comme le quarré de la vîtesse.

86. Si le milieu est agité, sa résistance sera augmentée ou diminuée par son mouvement propre ; augmentée, si le milieu se meut en sens contraire du mobile ; diminuée ou même annullée si le mobile

et le milieu se meuvent dans le même sens. Un poisson, par exemple, qui remonte le courant d'une rivière, un homme qui va contre le vent, ont chacun deux résistances à vaincre : l'une est l'inertie du volume du milieu qu'il leur faut déplacer, comme ils le feroient dans un fluide tranquille; l'autre est le mouvement acquis du fluide, dont la direction est contraire à la leur. C'est pour cette raison que, quand on fait mouvoir un corps contre la direction d'un fluide dont le mouvement est rapide, on diminue son volume autant qu'il est possible, pour donner moins de prise à l'effort du courant. Un vaisseau qui a le vent contraire, plie ses voiles; quand le vent est trop fort, le meûnier déshabille en partie les aîles de son moulin.

87. Si le mobile et le fluide qui lui sert de milieu ont la même direction, ou ils ont des vîtesses égales, ou l'un des deux en a plus que l'autre. Dans le premier cas, la résistance du milieu est nulle : tel est un poisson qui suit exactement le courant de l'eau, tel est un ballon qui s'en va au gré du vent; ni l'un ni l'autre n'éprouve aucune résistance de la part du milieu. Dans le second cas, celui des deux qui a le plus de vîtesse en communique à l'autre aux dépens de celle qu'il a. Un boulet de canon, par exemple, qui part dans la direction du vent, ne trouve pas autant de résistance dans l'air qu'il en trouveroit dans un temps calme; sa vîtesse est moins retardée : mais, comme il va plus vîte que le vent, il faut toujours qu'il s'ouvre un passage dans ce milieu qui fuit devant lui avec trop de lenteur. Il éprouve donc une résitance, mais moindre que si l'air étoit tranquille. Au contraire, un homme qui va dans la direction

du vent, non-seulement n'éprouve pas de résistance de la part de l'air, mais il est aidé dans sa marche par le vent, qui a plus de vîtesse que lui.

88. Ce qu'il y auroit pour nous de plus intéressant à connoître exactement, relativement à la résistance des fluides, ce seroit sur-tout celle de l'eau pour les corps qui flottent dessus, tel qu'un bateau, un vaisseau, etc. Cette résistance dépend, 1°. de la densité du fluide; 2°. du volume de ce fluide qui doit être déplacé dans un temps donné; 3°. de la vîtesse du mobile; 4°. de la figure du mobile; 5°. de la largeur et de la profondeur du canal.

89. 1°. Cette résistance dépend de la densité du fluide; plus cette densité est grande, plus la résistance est grande. L'eau de mer ayant plus de densité que l'eau de rivière, résiste davantage.

90. 2°. Elle dépend du volume du fluide qui doit être déplacé dans un temps donné. Ce volume déplacé dépend de la surface antérieure du mobile, et de l'espace parcouru (76). Si le choc du fluide sur la surface antérieure du mobile est perpendiculaire à sa direction, la résistance est sensiblement proportionnelle à l'étendue des surfaces. Elle augmente même dans une raison un peu plus grande que n'augmente l'étendue de la surface en largeur, pour les corps qui flottent, c'est-à-dire, que si l'on double la largeur du bateau, la résistance est un peu plus que doublée; car plus cette surface est large, plus le fluide a de peine à se détourner et à se mettre de niveau: ce que prouve le *remou*, qui est alors plus considérable. Mais cette résistance augmente un peu moins que n'augmente l'étendue de la surface en profondeur, c'est-à-dire, que si l'on double la profondeur du ba-

teau sans augmenter sa largeur, la résistance est un peu moins que doublée, parce qu'alors le *remou*, qui se fait tout à la surface du fluide, est moindre. En général, dans la pratique on peut supposer, sans crainte d'erreur sensible, que *la résistance perpendiculaire et directe d'une surface plane, qui se meut parallèlement à elle-même dans un fluide indéfini, est égale au poids d'une colonne du même fluide, laquelle auroit pour base la surface choquée, et pour hauteur celle qui est due à la vîtesse avec laquelle se fait la percussion.*

Mais si deux plans différens se meuvent tous deux parallèlement à eux-mêmes, dans le même fluide, avec des vîtesses différentes, *les résistances du fluide seront entr'elles comme les produits de ces plans, par les quarrés de leurs vîtesses.*

Si les fluides dans lesquels ces deux plans se meuvent n'étoient pas de la même espèce, la raison de leurs densités devroit entrer dans le calcul. Alors *les résistances seroient en raison composée des plans, des densités des fluides, et des quarrés des vîtesses de ces plans.* Il ne faut pas manquer de faire ainsi le calcul, lorsqu'il s'agit de comparer la résistance d'un fluide à celle d'un autre fluide de densité différente. Par exemple, en supposant des plans de même étendue, et se mouvant avec la même vîtesse, la résistance de l'eau est à celle de l'air, à très-peu de chose près, comme 810,6 est à un, c'est-à-dire, dans le rapport des densités de ces deux fluides.

Si les deux fluides étoient eux-mêmes en mouvement, soit en même sens, soit en sens contraire du mouvement des plans, *les résistances seroient entre elles comme les produits des plans par les quarrés*

des différences ou des sommes des vîtesses des fluides et des plans.

91. Dans le choc oblique, la règle établie est que *les résistances sont en raison du quarré du sinus de l'angle d'incidence du fluide sur le plan.* Mais cette théorie s'éloigne beaucoup de la pratique, quand les angles sont fort petits; et l'expérience prouve que la résistance est beaucoup plus grande que ne la donne la théorie. Ainsi cette théorie ne peut pas déterminer exactement les résistances qui proviennent des chocs obliques, même quand on introduiroit, au lieu du quarré, toute autre puissance du sinus de l'angle d'incidence. La fonction générale du temps, de l'espace, de la surface et du sinus de l'angle d'incidence, qui devroit être propre à représenter la résistance dans tous les cas, est un objet de recherche très-difficile, et bien digne de l'attention des géomètres. Cette théorie ne peut pas non plus être employée pour trouver le solide de la moindre résistance; ce qui seroit pourtant un grand avantage pour la construction des vaisseaux, et ce qui seroit très-propre à les rendre les meilleurs voiliers possibles.

Si l'on veut comparer la résistance du choc perpendiculaire à celle du choc oblique dans le même fluide, supposons que le fluide X frapde perpendiculairement le plan A en repos, et que le fluide Y frappe obliquement le plan B, aussi en repos; alors la résistance contre le plan A sera à la résistance contre le plan B, comme le produit du plan A par le quarré de la vîtesse du fluide X et par le quarré du sinus total, est au produit du plan B par le quarré de la vîtesse du fluide Y et par le quarré du sinus de l'angle d'incidence du fluide Y sur le plan B.

92. A l'égard de la ténacité de l'eau et de la cohésion de ses parties, ainsi que du frottement qu'elle cause, cette force doit être regardée comme infiniment petite par rapport à la résistance qui vient de l'inertie (85). Cette ténacité et ce frottement ne pourroient devenir sensibles que dans le cas extraordinaire où le vaisseau auroit une longueur excessive par rapport à sa largeur.

93. 3°. La résistance des fluides dépend de la vîtesse du mobile. Cette résistance suit à-peu-près la raison du quarré des vîtesses (83). A la rigueur, elle augmente en plus grande raison que le quarré de la vîtesse, à cause que le fluide ne fuit pas assez vîte devant le mobile; ce que prouve le *remou :* mais la différence n'est pas grande.

94. 4°. La figure du vaisseau contribue beaucoup à la résistance du fluide sur lequel il flotte. La plus forte résistance vient du choc direct et perpendiculaire (90). Le choc oblique la diminue (91), et d'autant plus que l'angle de la proue est plus aigu; car plus cet angle est aigu, plus le sinus de l'angle d'incidence du fluide est petit. Mais cet angle très-aigu est incommode; il donneroit beaucoup de longueur au vaisseau, et peu d'emplacement dans l'intérieur.

95. 5°. La résistance du fluide dépend de la largeur et de la profondeur du canal. Plus les canaux sont étroits et peu profonds, plus la résistance est grande, parce que le fluide, poussé par le bateau, a d'autant moins la liberté de passer de l'avant à l'arrière. La différence peut aller très-loin; la résistance peut être double ou même triple. Il est donc essentiel de donner aux canaux de navigation le plus de largeur et de

profondeur qu'il est possible, sans se jeter néanmoins dans une dépense superflue.

On doit éviter aussi, à moins qu'on n'y soit forcé par des circonstances locales, de construire des canaux souterreins; car, pour leur donner les dimensions requises, ils coûteroient des sommes énormes, soit pour l'extraction des terres, soit pour la construction des voûtes, qui sont presque toujours nécessaires.

Résistance des Frottemens.

96. On appelle *frottement*, le passage d'une surface d'un corps sur celle d'un autre corps. Toutes les fois que deux surfaces glissent l'une sur l'autre, il y a donc frottement, lequel oppose une résistance, parce que ces surfaces, quelque polies qu'elles nous paroissent, ne le sont jamais parfaitement : ce sont toujours des assemblages de petites éminences et de petites cavités. Je n'en excepte pas même la surface polie d'un diamant; car cette surface a été polie avec quelques poudres qui l'ont sillonnée : ces sillons sont, à la vérité, tellement petits, que nos yeux ne les apperçoivent pas; mais ils n'existent pas moins. Lors donc que deux surfaces se touchent, les éminences de l'une entrent dans les cavités de l'autre; et pour les faire glisser l'une sur l'autre, il faut ou arracher les parties engagées, ou soulever le corps pour les dégager, et par conséquent vaincre le poids de ce corps. Or il faut une force réelle, ou pour vaincre le poids du corps, ou pour en arracher les parties engagées; et ce qui résiste à cette force, est ce qu'on appelle *frottement*. Les frottemens sont donc une résistance réelle au mouvement des corps.

97. La surface d'un corps peut parcourir la surface

d'un autre corps de deux manières, ou simplement en glissant ou en roulant. Dans le premier cas, il y a application successive des mêmes parties d'une surface à différentes parties de l'autre, comme lorsqu'on fait glisser une planche sur une table. Dans le second cas, il y a application successive des différentes parties d'une surface à différentes parties de l'autre, comme lorsqu'on fait rouler une boule ou une roue sur un terrein. De là on distingue deux sortes de frottemens. Lorsque les corps glissent l'un sur l'autre, le frottement se nomme celui de la première espèce; lorsque l'un roule sur l'autre, le frottement se nomme celui de la seconde espèce. Ces deux espèces de frottemens opposent une résistance, et ralentissent le mouvement des corps; mais la résistance de celui de la seconde espèce est moindre que celle de l'autre, et produit moins d'effet; car, pour vaincre la résistance du frottement de la première espèce, il faut ou soulever le corps glissant, ou en rompre les parties engagées; au lieu que, dans celui de la seconde espèce, les parties engagées du corps roulant se quittent et se désengrènent à-peu-près comme le font les dents de deux roues qui roulent l'une sur l'autre. C'est pourquoi, lorsqu'on se trouve dans une descente rapide avec une voiture, pour en ralentir la vîtesse et l'empêcher de se précipiter, on enraye une des roues. Par ce moyen, on change le frottement de la seconde espèce en celui de la première, qui résiste davantage.

98. Il y a encore plus de difficultés à évaluer la résistance des frottemens que celle des milieux. Le passage d'une surface sur une autre fait une résistance d'autant plus grande, et ce passage est d'autant plus retardé, que ces surfaces ont plus d'inégalités; mais

ce

ce plus ou ce moins d'inégalités varie à l'infini, et est très-difficile à connoître. Les autres qualités : savoir, la grandeur des surfaces frottantes, la force qui presse ces surfaces l'une sur l'autre, la vîtesse avec laquelle elles se meuvent, sont plus faciles à estimer ; mais comme leur valeur est relative à l'état actuel des surfaces frottantes, et que cet état est peu connu, il reste toujours de l'incertitude. Il faut donc le plus souvent se contenter d'un à-peu-près. Il est assez d'usage de supposer, dans les grandes machines, un tiers de la force employée pour vaincre la résistance des frottemens, et quelquefois ce tiers ne suffit pas.

99. *Amontons* (*Mémoires de l'Académie des Sciences*, ann. 1699, pag. 206) a pensé que, pour évaluer les frottemens, on ne devoit pas avoir égard à la grandeur des surfaces frottantes, mais seulement à la force qui presse ces surfaces les unes contre les autres, laquelle force n'est souvent que le poids des corps, qu'il faut soulever pour les faire glisser ; et que, par conséquent, lorsqu'une pièce de bois, par exemple, a plus d'épaisseur dans un sens que dans l'autre, il est indifférent de traîner cette pièce de bois sur sa grande ou sa petite surface ; que dans les deux cas la résistance des frottemens est égale, parce que le poids de cette pièce demeure toujours le même, et que sa charge est distribuée à toutes les parties de la surface frottante ; de sorte que si cette surface frottante est la plus grande, il y a, à la vérité, plus de parties engagées ; mais elles le sont moins que s'il y en avoit un moindre nombre, mais qui seroient plus chargées. *Amontons* a soutenu et appuyé son opinion sur des expériences ingénieuses et des raisonnemens spécieux. Cependant l'expérience

prouve aussi qu'il y a des cas où il faut compter pour quelque chose la grandeur des surfaces, quoique l'augmentation des surfaces frottantes augmente beaucoup moins la résistance des frottemens que ne le fait l'augmentation des pressions. Et, en effet, la première cause des frottemens est l'inégalité des surfaces (96) : en augmentant la grandeur de ces surfaces, on fait croître le nombre de ces inégalités ; puisqu'on augmente la cause, l'effet doit être augmenté.

100. Outre la pression et la grandeur des surfaces, on doit encore faire entrer la vîtesse dans l'évaluation des frottemens ; car si l'on augmente la vîtesse, il est évident que, la surface frottante faisant plus de chemin dans un temps déterminé, ses éminences seront, pendant ce temps, ou pliées, ou rompues, ou dégagées, en plus grand nombre, et par conséquent le corps soulevé plus fréquemment, ce qui augmente la résistance. Il est pourtant vrai que cette augmentation de résistance, qui vient de la vîtesse avec laquelle on fait frotter les surfaces, a ses bornes, au-delà desquelles on peut accélérer la vîtesse, sans que les frottemens en deviennent plus considérables : de sorte qu'on peut dire en quelque façon, qu'en augmentant la cause on n'augmente plus son effet ; ce qui a besoin d'être expliqué. Pour cela, supposons que D E et F G (*fig.* 6) représentent deux surfaces de corps durs, dont les inégalités presque insensibles (quoiqu'ici représentées en grand), sont engrenées les unes dans les autres ; que la pression qui les joint agisse dans la direction A B, perpendiculaire à celle qu'ont les deux corps quand ils glissent l'un sur l'autre. Il est clair que le corps D E ne peut se mouvoir suivant la direction B C, à moins que ses parties saillantes $e, f, g, h,$

ne se dégagent des creux dans lesquels elles sont enfoncées, ce qui ne peut se faire, qu'autant que le corps entier D E sera soulevé contre l'effort de la pression. Si cette pression fait retomber ces parties saillantes dans les creux suivans, de sorte que *e*, sortant de 1, retombe en 2, ensuite en 3, etc. il est clair que l'effort qu'il faudra faire pour soulever le corps D E, se répétera autant de fois qu'il y aura d'éminences et de creux; et plus le corps D E fera de chemin dans un temps donné, plus ces soulevemens et ces rechûtes seront fréquens. Mais si la vîtesse est assez grande pour que les éminences, une fois dégagées, passent plusieurs cavités sans y retomber; que la partie *e*, par exemple, ayant été dégagée du creux 1, au lieu de retomber dans le 2, soit transportée jusqu'au 3 ou jusqu'au 4, on conçoit aisément que le corps frottant D E pourra parcourir 2 ou 3 fois autant de surface sur F G, sans que ses éminences y soient plus fréquemment engagées; auquel cas la résistance du frottement ne sera pas augmentée, quoique la vîtesse le soit.

Nous avons dit (98) qu'il étoit très-difficile d'évaluer au juste la résistance des frottemens. Voyons du moins ce que l'expérience prouve de certain, relativement à cette résistance.

101. 1°. *Le frottement de la première espèce cause une résistance beaucoup plus grande que celle que cause le frottement de la seconde espèce* (97). Pour vous en assurer, faites l'expérience suivante.

EXPÉRIENCE. Mettez sur une table un bloc de marbre, poli ou non, pesant 50 ou 60 kiliogrammes; essayez de le pousser avec la main, vous y trouverez une très-grande résistance. Ici c'est un frottement de

la première espèce (97). Mettez ensuite, entre la table et le bloc de marbre, deux cylindres ou rouleau de bois, ils changeront le frottement de la première espèce en celui de la seconde (97) : avec un très-petit effort vous ferez avancer le bloc de marbre. Donc, etc. C'est ainsi qu'on fait avancer sur le terrein de grosses pierres, qu'on ne remueroit que difficilement sans cela.

Tous les frottemens tendent donc à détruire le mouvement des corps; mais celui de la première espèce a des effets beaucoup plus considérables que celui de la seconde espèce. Ces effets du frottement se rencontrent par tout; ils sont la principale cause de l'altération et du dépérissement de nos habits, de nos meubles, etc. Les fers des chevaux ne s'usent-ils pas en frottant sur le pavé, ainsi que les bandes des roues? C'est principalement ce qui fournit cette grande quantité de fer, qui se mêle et qui noircit les boues des grandes villes, où il passe beaucoup de chevaux et de voitures.

102. Si les frottemens nous sont souvent nuisibles, ils nous sont quelquefois utiles; les arts savent les tourner à leur avantage. Une lime n'agit que par son frottement augmenté par la pression. C'est une surface garnie d'aspérités qui s'insinuent entre les parties de la pièce qu'on travaille, et qui les arrachent. On peut dire la même chose des meules et autres pierres à aiguiser.

103. Lorsque la résistance des frottemens est trop grande, on la diminue beaucoup en enduisant les surfaces frottantes de quelque matière grasse; comme lorsqu'on met du vieux oing entre l'essieu et le moyeu d'une roue. Cela produit deux effets qui contribuent

à la diminution de la résistance du frottement ; 1°. cette matière grasse remplit en partie les creux, et par-là rend moindres les inégalités des surfaces ; 2°. ce qui demeure de trop de cette matière grasse, et qui ne se loge pas dans les creux, fait l'équivalent des rouleaux dont nous avons parlé ci-dessus (101), et change le frottement de la première espèce en celui de la seconde.

104. 2° *La résistance des frottemens augmente par l'augmentation des surfaces frottantes*, comme le prouve l'expérience suivante.

EXPÉRIENCE. Mettez sur une grande table, une pièce de bois qui ait plus de largeur que d'épaisseur ; qui ait, par exemple, 2 décimètres de largeur et 1 décimètre d'épaisseur. Moyennant un anneau fixé à un de ses bouts, attachez-y une corde que vous ferez passer sur une poulie fixée sur le bord de la table, et que la corde porte un bassin de balance. Mettez dans ce bassin autant de poids qu'il en faudra pour faire avancer la pièce de bois, frottant, 1°. sur sa grande face ; 2°. sur sa petite. Vous verrez qu'il faudra un peu plus de poids dans le premier cas que dans le second. Donc, etc.

En effet, les inégalités des surfaces sont la première cause des frottemens (96) : en augmentant l'étendue des surfaces frottantes, on fait croître le nombre de ces inégalités ; on augmente donc la cause ; l'effet doit être augmenté. Mais cet effet n'est pas augmenté autant que l'étendue de la surface ; car une surface double ne cause pas une résistance double. Il arrive même quelquefois que l'augmentation de cet effet n'est pas sensible, comme dans certaines petites

machines bien travaillées; mais il n'en est pas de même dans les grandes machines, où souvent les pièces ne sont que dégrossies.

105. L'augmentation de résistance à raison des surfaces frottantes, a lieu aussi pour les fluides : leur vîtesse est d'autant plus retardée, que les surfaces frottantes ont plus d'étendue. L'expérience fait voir que les jets d'eau (qui ne s'élèvent qu'en vertu de la vîtesse que l'eau a acquise en descendant) s'élèvent d'autant moins, que les tuyaux sont plus petits; parce qu'alors la surface frottante et proportionellement plus grande : car la surface d'un gros tuyau, quoique plus grande que celle d'un petit, est cependant moindre relativement à sa capacité. Supposons deux tuyaux cylindriques, dont l'un ait 2 décimètres de diamètre, et l'autre 1 décimètre seulement ; il est démontré que la surface du gros n'est que double de celle du petit, tandis que sa capacité est quadruple : il faudroit donc quatre petits tuyaux pour contenir toute l'eau que tient le gros, et les surfaces de ces quatre tuyaux, prises ensemble, seroient doubles de la surface du gros. Donc plus les tuyaux sont menus, plus les surfaces frottantes sont grandes, relativement au volume d'eau qui y passe. C'est par la même raison que les rivières coulent plus lentement dans les eaux basses : les surfaces frottantes sont alors plus grandes relativement au volume d'eau. Car supposons A E F B (*fig.* 7.) la coupe du lit d'une rivière, et qu'il n'y ait de l'eau qu'à la hauteur C D, le surfaces frottantes sont le fond E F, et les deux côtés C E et D F : doublons maintenant la quantité d'eau en la supposant à la hauteur A B; les surfaces frottantes ne seront augmentées que des deux côtés

A C et B D : les surfaces latérales frottantes seront doublées, mais le fond ne le sera pas.

106. 3°. *La résistance des frottemens augmente par l'augmentation de la pression.*

Expérience. Servez-vous de l'appareil de l'expérience précédente (104). Après avoir éprouvé quel est le poids nécessaire pour faire avancer la pièce de bois, frottant sur sa face de 2 décimètres, chargez cette pièce de bois d'un poids égal au sien, vous aurez par-là doublé la pression de la pièce sur la table. Pour la faire avancer, dans ce second cas, il faudra un poids beaucoup plus considérable que dans le premier. Donc, etc. La raison de cela est que les parties s'engagent d'autant plus profondément que la pression est plus grande : elles résistent donc davantage à la force qui tend à les dégager.

107. 4°. *A proportions égales, la résistance des frottemens augmente beaucoup plus par l'augmentation de la pression, que par l'augmentation des surfaces frottantes ;* c'est-à-dire, que cette résistance est beaucoup plus augmentée en doublant ou triplant la pression, qu'en doublant ou triplant l'étendue des surfaces frottantes.

Ceci est prouvé par ce qui précède. On a vu (104) qu'une surface double n'oppose qu'une résistance fort peu supérieure à celle qu'oppose une surface simple; et l'on a vu (106) qu'une pression double produit une résistance beaucoup plus considérable. Donc, etc.

108. Voilà tout ce que l'expérience nous apprend, relativement à la résistance des frottemens. Il est donc très-difficile, comme nous l'avons déjà dit (98), peut-être même impossible, d'en déterminer au juste la valeur; parce que cette valeur dépend toujours de

l'état actuel des surfaces frottantes, lequel n'est jamais assez connu : cependant on approche assez du vrai, si l'on évalue la résistance du frottement de la première espèce à $\frac{1}{3}$ de la pression.

109. Mais si l'on avoit un intérêt réel à connoître exactement la valeur de la résistance du frottement de deux pièces déterminées, on pourroit la connoître au juste de la manière suivante. Nous ferons voir dans la suite (543) que la force nécessaire pour soutenir un corps sur un plan incliné, qui seroit parfaitement poli, et qui n'occasionneroit aucun frottement, que cette force, dis-je, est au poids de ce corps, comme la hauteur du plan est à sa longueur. Eh bien ! de l'un de ces deux corps dont vous voulez connoître la valeur du frottement, faites un plan incliné; placez l'autre dessus, et donnez à ce plan une inclinaison telle que le frottement du plan et la pesanteur du corps qui est dessus soient précisément en équilibre. Dans ce cas-là, la résistance du frottement de ces deux corps sera au poids du corps placé sur le plan, comme la hauteur du plan est à sa longueur. Si, par exemple, le plan a 10 mètres de longueur et 4 de hauteur, la résistance du frottement sera égale à quatre dixièmes du poids du corps.

110. De tout ce que nous venons de dire, de la résistance des milieux et de celle des frottemens, on doit conclure que, dans l'état naturel des choses, il ne peut y avoir aucun mouvement mécanique inaltérable; puisque ces deux résistances, qui sont inévitables, sont des causes qui exigent à chaque instant que les corps emploient, pour les vaincre, une partie de leur mouvement. Quelque grande que soit la quantité qu'on leur en aura donnée, comme, par cette rai-

son, elle ira toujours en diminuant, il arrivera l'instant où il n'en restera plus. Le mouvement perpétuel mécanique est donc démontré impossible; et ceux qui s'obstinent à le chercher, et qui multiplient les frais dans cette vue, perdent leur temps, leurs peines, et leurs dépenses, et prouvent complètement leur ineptie.

II. *Loi du Mouvement simple.*

111. *Les changemens qui arrivent au mouvement d'un corps, sont toujours proportionnels à la cause qui les produit.*

Uns force, quand elle agit, ne peut produire que ce dont elle est capable; et elle produit toujours tout ce dont elle est capable, à moins que quelque autre force ne s'y oppose. L'effet sera donc toujours proportionnel à la cause. Cela est trop simple et trop clair, pour mériter une plus ample explication.

III. *Loi du Mouvement simple.*

112. *La réaction est toujours égale à l'action ou à la compression.*

Quand un corps en mouvement, ou qui tend à se mouvoir, agit sur un autre corps, il le comprime; et ce dernier exerce réciproquement sur le premier une compression égale. Par exemple, si j'appuie ma main sur un bassin vide de balance, et que je tienne soulevés 10 kiliogrammes de plomb que je suppose dans l'autre bassin, ma main est autant comprimée que si je recevois sur elle les 10 kiliogrammes de plomb pour les soutenir. La réaction de ces 10 kiliogrammes de plomb contre ma main est donc égale à l'action de ma main.

Mais, dira-t-on, si la réaction étoit toujours égale à l'action, jamais un corps n'en pourroit mouvoir un autre : ces deux actions égales et opposées se détruiroient mutuellement ; de là naîtroit l'équilibre. Car comment un corps peut-il en faire avancer un autre, si ce second pousse le premier en sens contraire avec une force égale à celle que le premier emploie à le pousser lui-même ? On doit répondre à cela, que, lorsqu'un corps en pousse un autre, et qu'il le fait avancer, le premier n'emploie qu'une partie de sa force à vaincre la résistance que lui oppose le second, et qu'après avoir surmonté cette résistance, il lui reste encore une autre partie de sa force qu'il peut employer à faire avancer le corps. Comme lorsque, dans l'exemple ci-dessus, je soutiens les 10 kiliogrammes avec ma main, ma main n'emploie qu'un effort de 10 kiliogrammes pour les soutenir : et si je veux les soulever, j'emploie la force qui me reste. Ainsi quoique les forces soient inégales, l'action et la réaction sont toujours égales. La raison de cette égalité de l'action et de la réaction dans tous les cas, est qu'un corps ne sauroit employer un degré de force à surmonter la résistance d'un autre corps, sans en perdre lui-même une quantité égale à celle qu'il y a employée.

CHAPITRE III.

Des causes qui changent la direction du Mouvement.

113. Après avoir traité des causes, absolument inévitables dans la nature, qui retardent à chaque instant la vîtesse des corps en mouvement, nous allons parler maintenant de celles qui en changent la direction.

Si un corps en mouvement change de direction, c'est qu'il y est forcé par un obstacle ; car, suivant la première loi (74), il tend à persévérer dans son état. Il y a trois sortes d'obstacles qui peuvent occasionner un changement dans la direction du mouvement des corps : 1°. un obstacle dans lequel le mobile puisse pénétrer, comme une matière fluide dans laquelle il puisse s'ouvrir un passage ; 2°. un obstacle impénétrable et fixe, comme une matière solide, qui oppose au mobile toute sa masse, à cause de la liaison de ses parties, et de son adhérence au terrein sur lequel il est fixé ; 3°. un obstacle, à la vérité impénétrable au mobile, mais qui, en même temps, peut être déplacé par le choc.

Changement de direction occasionné par une matière fluide ; ou réfraction.

114. Ce changement de direction, appelé *réfraction*, est la déviation que souffre un corps qui passe obliquement d'un milieu dans un autre, plus ou

moins résistant que le milieu d'où il sort ; de sorte que sa nouvelle direction fait angle avec la première au point de contact des deux milieux, et paroît là comme brisée : d'où vient le mot *réfraction*. Voyons quelles sont les conditions essentielles pour qu'un corps en mouvement souffre cette espèce de déviation, et quelle est la cause de la réfraction des corps.

115. Si un mobile passe d'un milieu dans un autre, par exemple, de l'air dans l'eau ou de l'eau dans l'air, ces milieux n'étant pas également pénétrables pour lui, soit par la différence de leurs densités, soit par quelque autre cause, l'un lui opposera plus ou moins de résistance que l'autre. Ce plus ou moins de résistance qu'il éprouvera de la part du nouveau milieu (que nous appellerons *milieu réfringent*), ne manquera pas de lui faire quitter sa première direction, pourvu qu'il y entre obliquement ; et c'est là ce qu'on appelle *réfraction*. Supposons un grand bassin plein d'eau, dont la coupe soit représentée par A B D C (*fig.* 8). On ne peut diriger vers la surface A C de l'eau un corps que de deux manières, ou par une perpendiculaire au plan qui sépare les deux milieux, comme P F, ou par une ligne plus ou moins oblique à ce même plan, telle qu'une ligne prise entre P F et C F pour aboutir au point F ; car, si le corps suivoit la ligne C F, ou toute autre ligne qui lui fût parallèle, il est évident qu'il n'entreroit jamais dans l'eau, et que, par conséquent, il ne changeroit point de milieu. Si un corps sphérique E vient à la surface de l'eau par la perpendiculaire P F, l'expérience prouve qu'il continue de se mouvoir par F *p*, et par conséquent qu'il ne souffre

aucune réfraction. Mais s'il suit une ligne oblique, comme *e* F, sitôt qu'il est parvenu en F, l'eau, qu'il commence à toucher, devient pour lui un milieu réfringent; et l'expérience prouve encore qu'au lieu de continuer sa route en ligne droite, et d'aller de F en G, il reçoit une nouvelle direction qui fait angle avec la première au point F, et qui le porte plus haut que le point G, comme, par exemple, de F en H, en l'éloignant de la perpendiculaire F *p*. Ce mobile souffre donc, dans ce cas-là, une refraction, laquelle l'éloigne de la perpendiculaire au plan qui sépare les deux milieux.

116. La réfraction se feroit en sens contraire, si le mobile passoit de l'eau dans l'air, ou en général d'un milieu dense dans un plus rare, d'un milieu plus résistant dans un moins résistant. Si, par exemple, il avoit décrit dans l'eau la ligne H F, il ne continueroit point dans l'air son mouvement en ligne droite par la ligne F K; la réfraction qu'il souffriroit au point F lui feroit prendre une nouvelle direction, et le porteroit à un point plus élevé que le point K, comme, par exemple, en *e*; ce qui l'approcheroit de la perpendiculaire P F.

117. La réfraction dépend donc de deux conditions absolument essentielles, et sans lesquelles elle n'a pas lieu. La première est le passage du mobile d'un milieu dans un autre plus ou moins résistant; la seconde est l'obliquité d'incidence de la part du mobile. Si donc le mobile passe obliquement d'un milieu moins résistant dans un plus résistant, il se réfracte en s'éloignant de la perpendiculaire imaginée au plan qui sépare les deux milieux, en faisant son angle de réfraction plus grand que son angle d'inci-

dence. Mais si le mobile passe obliquement d'un milieu plus résistant dans un moins résistant, il se réfracte en s'approchant de la perpendiculaire imaginée au plan qui sépare les deux milieux ; en un mot, en faisant son angle de réfraction plus petit que son angle d'incidence.

Voici les faits tels que l'expérience les donne : voyons-en maintenant les raisons.

118. Nous avons dit (115) que, quoiqu'il y ait changement de milieu, s'il n'y a point d'obliquité d'incidence, si le mobile E arrive par la ligne P F perpendiculaire à la surface A C du milieu réfringent, il n'y a point de réfraction. En voici la raison. Supposons que le mobile M (*fig.* 9) arrive du point *m* au vase plein d'eau N T *t n* par la ligne P *p* perpendiculaire à la surface N *n* de l'eau ; ce mobile se trouve successivement dans l'air et dans l'eau, et il n'éprouve de résistance de la part de ces milieux que sur son hémisphère inférieur N O *n*. Tant qu'il est dans l'air (que nous supposons en repos et d'une densité uniforme), les résistances qu'il éprouve d'une part sont compensées par celles qu'il éprouve de l'autre ; sa vîtesse est également retardée dans tous ses points : son centre ne doit donc point se détourner de la ligne M *m*. On peut dire la même chose quand on considère le mobile entièrement plongé dans l'eau : seulement la résistance de ce dernier milieu est plus grande que celle du premier : elle retarde davantage la vîtesse du mobile ; mais elle ne le détourne point de sa première direction, puisqu'elle agit également de toutes parts. On peut encore appliquer le même raisonnement à son passage de l'air dans l'eau ; car, quand le mobile commence à se plonger, l'eau résiste

directement en O, dans une direction qui passe par le centre M : en se plongeant jusqu'en S *s*, les résistances qu'il éprouve de S en O sont compensées par celles qu'il éprouve de O en *s* : de même, en se plongeant de plus en plus, S R, R N, et leurs correspondantes *s r*, *r n* participent successivement et également à la résistance du nouveau milieu. Ces résistances, de part et d'autre, se font donc équilibre, et cet équilibre maintient toujours le centre M dans la ligne P *p*. Ce qui prouve bien que l'obliquité d'incidence de la part du mobile est une condition absolument essentielle pour la réfraction, puisque sans elle le mobile continue son mouvement dans sa première direction, quoiqu'il passe d'un milieu dans un autre d'une résistance différente. Un corps qui tombe dans l'eau, par une ligne perpendiculaire à la surface de l'eau, doit donc se trouver au fond vis-à-vis le point par lequel il est entré dans l'eau, pourvu que cette eau soit tranquille et non courante, comme celle d'un bassin. Il n'en est pas de même, si l'eau est courante, comme celle d'une rivière : le corps n'y est pas plutôt entré, qu'il est entraîné par la vîtesse du courant, et son mouvement se compose de cette vîtesse et de celle qu'il a acquise par sa chûte. Il n'en seroit pas de même non plus, si, quoique l'eau fût en repos le corps avoit une figure telle qu'il éprouvât plus de résistance d'un côté que de l'autre ; ce qui le feroit dévier de sa première direction.

119. Il n'en est pas de même quand le mobile se présente obliquement au plan qui sépare les deux milieux (115). Supposons le mobile M (*fig.* 10), qui arrive du point *m* à la surface de l'eau dans la direction S T oblique à cette surface. Tant qu'il est

tout entier dens l'air, comme en *m*, les obstacles qui se présentent à son hémisphère antérieur *n o p*, agissent également de tous les côtés, comme nous l'avons dit ci-dessus (118). Cette égalité entretient le mobile dans la direction *m* O ; mais quand il passe de l'air dans l'eau, ce même hémisphère N O P, pendant tout le temps de son immersion, rencontre des obstacles plus difficiles à vaincre d'un côté que de l'autre ; car le point R venant à toucher l'eau, éprouve plus de résistance que n'en éprouve son correspondant Q, qui ne rencontre encore que de l'air. Or un mobile se porte toujours du côté où il trouve moins de résistance. L'équilibre étant rompu entre les obstacles de part et d'autre, le centre M se porte du côté des plus foibles, et commence à s'écarter de sa première direction S T. La vîtesse du mobile étant ralentie de plus en plus par son immersion dans l'eau, et le mobile éprouvant toujours plus de résistance dans la partie O R P qu'il n'en éprouve dans la partie correspondante O Q N, jusqu'à ce que son hémisphère antérieur N O P soit entièrement plongé, son centre M abandonne de plus en plus sa première direction, et descend par une petite courbe M V, dont le dernier élément V commence la nouvelle direction V X ; ce qui l'éloigne de la perpendiculaire A B, imaginée à la surface de l'eau, et rend l'angle de réfraction plus grand que l'angle d'incidence.

120. Si le milieu Y dans lequel se meut d'abord le mobile, étoit plus résistant que le milieu Z dans lequel il passe (116), le mobile M éprouveroit alors une moindre résistance dans la partie O R P que dans la partie O Q N ; la courbe M V seroit tournée en sens contraire : ce qui rapprocheroit la nouvelle direction

rection de la perpendiculaire A B, et rendroit l'angle de réfraction plus petit que l'angle d'incidence.

121. La réfraction est susceptible de plus ou de moins : la différence qu'elle produit entre les angles d'incidence et de réfraction, peut être plus ou moins grande, suivant les circonstances. Ce plus ou moins dépend, 1°. du degré d'obliquité avec lequel le mobile arrive au milieu réfringent ; 2°. du degré de densité de ce milieu réfringent; 3°. de la grandeur du mobile ; 4°. de la vîtesse du mobile.

122. 1°. Nous avons vu (118) que la réfraction est nulle, lorsque la direction du mobile est perpendiculaire à la surface du milieu réfringent : elle commence avec l'obliquité d'incidence (119), et elle augmente avec elle, et proportionnellement à elle ; car, 1°. plus l'obliquité est grande, plus la réfraction est considérable. Si le mobile, au lieu de suivre la direction S T pour arriver au milieu réfringent, suivoit la direction *s t*, plus oblique que la première, il souffriroit une plus grande réfraction ; car, dans ce cas-là, la partie O R P de l'hémisphère antérieur seroit toute entière plongée dans l'eau, tandis que la partie O Q N seroit encore toute entière dans l'air. La différence entre les résistances sur les parties correspondantes seroit donc plus grande ; donc la réfraction augmente avec l'obliquité d'incidence. 2°. Elle augmente aussi proportionnellement à cette obliquité ; car si, dans différens cas, nous supposons le même mobile et les mêmes milieux, quels que soient les différens degrés d'obliquité avec lesquels le mobile arrive au milieu réfringent, il y aura, dans tous les cas, le même rapport entre les angles d'incidence et de réfraction. Par exemple, dans les deux incidences

différemment obliques A C et B F (*fig.* 11), si l'on compare les angles d'incidence A C P et B F D avec les angles de réfraction *a* C *p* et *b* F *d*, lesquels se mesurent par les lignes P A, D B, *a p*, *b d*, qui en sont les sinus, on verra que, si P A est à *a p* comme 2 est à 3, les deux lignes semblables D B et *b d*, qui représentent le cas d'une réfraction plus grande, sont aussi dans le même rapport entr'elles : donc, toutes choses égales d'ailleurs, la réfraction augmente proportionnellement à l'obliquité d'incidence.

123. Quand l'incidence est très-oblique, il arrive souvent que le mobile, au lieu de se plonger dans le milieu réfringent, se réfléchit comme s'il tomboit sur un plan solide. C'est ce qui arrive à un boulet de canon tiré très obliquement à la surface de l'eau : dans ce cas-là, l'eau lui refuse assez long-temps le passage pour lui donner lieu de continuer son mouvement dans l'air, et il se réfléchit de dessus l'eau, comme il le feroit de dessus un plan solide, et par les mêmes raisons (132). Cela fait voir qu'on ne seroit pas en sûreté, si l'on se trouvoit dans la direction du mouvement réfléchi d'une balle ou d'un boulet qui seroit tiré très-obliquement à la surface de l'eau.

124. 2°. La grandeur de la réfraction dépend encore de la densité plus ou moins grande du milieu réfringent, toutes choses étant d'ailleurs égales. Supposons le même corps lancé avec le même degré d'obliquité, successivement vers différens milieux de densités différentes : celui de ces milieux qui aura le plus de densité, occasionnera la plus grande réfraction ; car la réfraction est causée, comme nous l'avons prouvé ci-dessus (119), par la différence de la résistance des deux milieux ; chacun sur la portion

de la surface antérieure du mobile qui y répond. Or cette différence est d'autant plus grande, que le milieu réfringent a plus de densité, celle de l'autre demeurant la même : donc, etc.

125. 5°. La grandeur de la raréfaction dépend aussi de la grandeur du mobile; car, comme nous venons de le dire (124), la réfraction est causée par la différence de la proportion de la résistance des deux milieux, chacun sur la surface antérieuse du mobile qui y répond. Or la résistence du milieu réfringent, de l'eau, par exemple, est d'autant plus grande, que ses parties choquées sont en plus grand nombre; et elles sont en nombre d'autant plus grand, que le mobile a plus de volume. Un mobile, par exemple, sphérique arrivant à la surface de l'eau, ne la touche pas par un seul point; c'est toujours par un segment, et ce segment heurte un nombre de parties d'autant plus grand, qu'il fait lui-même partie d'une sphère plus grande, qu'il a plus d'étendue avec moins de convexité : il éprouve donc plus de résistance de la part de l'eau; ce qui occasionne une plus grande réfraction. En effet, comme c'est une plus grande résistance de la part du milieu réfringent qui fait que, dans certains cas, le mobile a un mouvement réfléchi, et non pas réfracté; aussi l'abbé *Nollet* a-t-il remarqué qu'une balle de 6 lignes ($15{,}535^{m.mt.}$) de diamètre entroit dans l'eau, quand sa direction faisoit un angle de 6 degrés avec la surface de l'eau, tandis qu'une plus grosse, à pareille incidence, étoit réfléchie; et un boulet de canon l'est sûrement sous un angle beaucoup plus ouvert : ce qui prouve bien que la résistance devient plus grande, à mesure que la grandeur du mobile augmente.

126. 4°. On doit compter encore que la vîtesse avec laquelle le mobile arrive à la surface du milieu réfringent, influe sur la grandeur de la réfraction. Car la résistance des milieux n'augmente pas seulement comme la vîtesse avec laquelle on les frappe, mais à-peu-près comme le quarré de cette vîtesse (83). La résistance du milieu réfringent est donc plus grande, quand il est frappé avec plus de vîtesse; ce qui augmente la réfraction.

127. Il suit de tout ce que nous venons de dire que, pour mesurer la réfraction d'un corps, il faut avoir égard à quatre choses : 2°. au degré d'obliquité avec lequel le mobile arrive au milieu réfringent; 2°. au degré de densité de ce milieu; 3°. à la grandeur du mobile; 4°. à la vîtesse avec laquelle il se meut.

Changement de direction occasionné par un obstacle impénétrable et fixe ; ou réflexion.

128. Ce changement de direction est celui que reçoit un corps en mouvement, lorsqu'il rencontre un obstacle impénétrable pour lui et fixe, lequel l'oblige à rebrousser chemin, et le fait rejaillir après le choc. La véritable cause de ce changement de direction est le ressort des corps : ainsi, si les corps n'avoient point de ressort, il n'y auroit point de réflexion. Il n'y a donc que les corps élastiques qui puissent être susceptibles de ce mouvement réfléchi. Mais tous les corps élastiques ne le sont pas également (32,33); et il n'y en a aucun, si l'on en excepte la matière de la lumière et les fluides aériformes, qui le soit parfaitement. Cependant, pour rendre la théorie plus simple, nous supposerons que les corps, ou

n'ont point du tout de ressort, ou qu'ils en ont un parfait, et par conséquent qu'ils sont capables d'une réaction parfaite.

129. Si les corps n'ont point de ressort, il n'y a point de mouvement réfléchi. Faites tomber un corps sur de la terre molle, ce corps y fera un enfoncement, et perdra tout son mouvement. Quand il commence à toucher la terre molle, il a une certaine quantité de mouvement acquis par sa chûte : c'est aux dépens de ce mouvement qu'il déplace une portion de la terre. Il ne doit donc cesser de se mouvoir que quand les parties qu'il a rencontrées ont été portées aussi loin que l'exigeoit la valeur de son effort; parce qu'un corps en mouvement ne peut être réduit au repos que par un obstacle dont la résistance égale le produit de sa force. Cette terre, que nous avons supposée sans ressort, n'a donc rien qui puisse rendre au mobile le mouvement qu'il a perdu en l'enfonçant : il n'y aura donc point de réflexion.

130. Les corps sans ressort, ou qui en ont très-peu, sont les plus propres à rompre les efforts violens; parce qu'ils retardent par degrés la vîtesse du mobile, et qu'ils le réduisent au repos en cédant de plus en moins. Tous les obstacles qui cèdent ainsi, partagent l'effort du mobile, et arrêtent comme en plusieurs fois une puissance qui ne manqueroit pas de les forcer, si son action étoit réunie dans un temps plus court. Une planche de chêne n'arrête pas une balle de mousquet : un petit sac rempli de laine ou de terre ne manque pas de l'amortir. Un boulet de canon fait peu d'effet sur des matelas suspendus librement en l'air, tandis qu'il perceroit une muraille.

131. Si les corps sont élastiques, alors il peut y

avoir un mouvement réfléchi. Supposons donc que l'obstacle D E (*fig.* 12), est un corps dont l'élasticité est parfaite, et que le corps C est parfaitement dur, et par conséquent non élastique. Le corps C étant porté de F en A avec un certain degré de vîtesse, et dans une direction perpendiculaire à l'obstacle D E, le frappe avec une force résultante de sa masse et de sa vîtesse (63), et y produit l'enfoncement *d* B *e* : le point de contact A est, par cet effort, porté jusqu'en B : ce point A est le premier comprimé, parce qu'il est le premier touché par le mobile C, et après lui, tous les autres points qui le suivent de part et d'autre, jusqu'aux points *d* et *e*, qui sont les derniers comprimés. Cet effet n'a pas lieu dans un instant indivisible ; il exige un temps fini pour être produit ; et, quoique très-court, ce temps peut être divisé en plusieurs instans. Au premier instant le mobile C exerce contre un très-petit espace de l'obstacle qu'il rencontre, un effort qui est comme sa masse et sa vîtesse actuelle, en conséquence duquel il déplace les parties qu'il touche : ce déplacement occasionne une résistance qui détruit une portion de la vîtesse du mobile. Ce mobile en a donc moins au second instant qu'au premier. Mais alors les parties enfoncées donnent lieu au mobile de toucher l'obstacle par une plus grande surface, d'agir sur un plus grand nombre de parties : en outre ces parties condensées par la compression qu'elles ont éprouvée au premier instant, résistent davantage ; ce qui retarde encore plus la vîtesse du mobile. Par les mêmes raisons, elle est encore plus retardée au troisième instant, et ainsi de suite, jusqu'à ce que le mobile ait consommé tout son mouvement. On voit par-là que la vîtesse du mobile

diminue par des quantités qui vont toujours en augmentant. Quand le mobile C a consommé toute sa force, les parties enfoncées *d* B *e*, et que nous supposons parfaitement élastiques, n'étant plus retenues, se rétablissent dans leur premier état : elles repoussent donc le mobile C devant elles, et tendent à le diriger comme elle. La partie B, qui a été enfoncée la première, se rétablit aussi avant les autres, et pousse le mobile C dans la direction A F ; direction dont il ne doit pas sortir, parce que ses parties correspondantes de part et d'autre, obéissent à des réactions semblables. De plus, cette partie B est reportée en A avec une vîtesse égale à celle avec laquelle elle a été déplacée. Sa vîtesse, ainsi que celle du mobile C, qu'elle pousse devant elle, est donc accélérée dans la même proportion suivant laquelle elle a été retardée d'abord : de-sorte que lorsque, par cette réaction, le mobile C est redevenu tangent à la surface D E, il a une vîtesse égale à celle qu'il avoit d'abord en arrivant à cette surface, et par conséquent une force capable de le porter de A en F dans un temps égal à celui qu'il a employé à venir de F en A. Nous venons de dire que le mobile C arrive à la surface D E par une ligne F A perpendiculaire à cette surface, et faisant avec elle un angle droit : par ce que nous venons de dire en dernier lieu, on voit que ce mobile rejaillit par la même ligne ; donc, dans ce cas-là, son angle de réflexion est égal à celui de son incidence.

132. Mais il arrive souvent que le mobile tombe obliquement sur l'obstacle : alors il change de direction ; il rejaillit par une autre route, parce que ses parties correspondantes éprouvent des résistances inégales. Supposons que le mobile I (*fig.* 13) arrive

à la surface RS par la ligne oblique TM, faisant avec cette surface l'angle TMS. Supposons encore que le mobile I est parfaitement dur, et que l'obstacle RS est parfaitement élastique. Le mobile I touche l'obstacle d'abord au point *i*, ce qui commence à retarder sa vîtesse : ensuite, en produisant l'enfoncement *ip*, que nous supposons être la valeur de son effort, il touche à chaque instant une plus grande surface, il agit sur un plus grand nombre de parties, et sur des parties de plus en plus résistantes, comme ayant été condensées par la compression qu'elles ont éprouvée dans les premiers instans : de sorte que sa vîtesse est retardée par des quantités qui vont toujours en augmentant (131); ce qui fait que son centre, au lieu de descendre par une ligne droite, descend par la courbe IM. Quand le mobile a consommé tout son mouvement, les parties enfoncées n'étant plus retenues, se rétablissent successivement, et selon l'ordre suivant lequel elles ont été comprimées : par-là, la vîtesse du mobile est accélérée en montant dans la même proportion suivant laquelle elle a été retardée en descendant (131); ce qui fait que le centre du mobile remonte par la courbe MP parfaitement semblable à la courbe MI, par laquelle il est descendu. Ainsi, comme l'extrémité I de la ligne TI de son incidence est le commencement de la première courbe IM, de même l'extrémité P de la seconde courbe MP est le commencement de la ligne PQ de sa réflexion : ce qui rend l'angle de réflexion QMR parfaitement égal à l'angle d'incidence TMS.

L'égalité de ces angles d'incidence et de réflexion se démontre d'une manière géométrique, en faisant usage d'un principe que nous emploierons ci-après

(162), savoir, que le mobile qui parcourt la ligne TM, se comporte comme s'il obéissoit à deux puissances, dont une le pourroit faire avancer de la quantité TV, pendant que l'autre le pourroit faire descendre de la quantité TS. Si, lorsqu'il est parvenu en M, une cause quelconque lui ôte toute sa vîtesse de haut en bas, sans rien diminuer de sa vîtesse horizontale, il doit parcourir la ligne MR dans un temps égal à celui qu'il a employé à aller de T en M, parce qu'il n'est plus commandé que par une puissance. Mais au lieu de cette supposition, si, lorsque le mobile est en M, la puissance qui le commande de haut en bas se convertit en une autre puissance d'égale force, mais qui le sollicite à se mouvoir de bas en haut, il sera de nouveau commandé par deux puissances, dont l'une sera MV et l'autre MR; et il suivra la diagonale MQ, qui fait nécessairement, avec le plan RS, un angle égal à celui que fait, avec le même plan, la diagonale TM; puisque ce sont les diagonales de deux parallélogrammes égaux et semblablement placés. Or nous venons de voir ci-dessus (131) que le mouvement de haut en bas se change, à pareil degré, en un autre de bas en haut, et qui lui est directement opposé; donc, etc.

133. Nous avons supposé le mobile parfaitement dur, et nous n'avons eu égard qu'au ressort du plan qui réfléchit. Les mêmes effets auroient lieu, si le plan étoit parfaitement dur, et que le mobile seul fût élastique: car dans le choc il s'applatiroit; et les parties comprimées, en se rétablissant, s'appuieroient sur le plan et repousseroient le mobile avec une vîtesse égale à celle avec laquelle elles auroient été comprimées, et dans un sens contraire. Il est vrai qu'aucune de ces

deux suppositions ne représente la nature. Il n'y a point de corps parfaitement dur, et tous ont de l'élasticité, peu ou beaucoup (53). Ainsi, toutes les fois qu'il y a réflexion, le mobile et l'obstacle y ont tous deux part, chacun suivant son degré d'élasticité.

134. On a mis en question, s'il y a quelques momens de repos entre l'incidence et la réflexion. Quelques physiciens ont été pour l'affirmative; et d'autres pour la négative. Pour décider cette question, il faut savoir comment chacun l'a entendue. Il est certain qu'un corps à ressort qui vient frapper un plan, se bande et s'applatit peu à peu en changeant de figure, et consomme petit à petit tout le mouvement qu'il avoit, et qu'il emploie à bander son ressort. Quand une fois le ressort est totalement bandé, et que le corps a perdu tout son mouvement, le ressort se débande aussitôt, sans qu'il y ait d'intervalle entre le commencement du débandement et la fin du bandement. En effet, quelle seroit la cause qui feroit que le ressort resteroit bandé lorsque le mouvement du corps est entièrement cessé, et que rien ne s'oppose au débandement du ressort? Il se débandera donc aussitôt, et rendra par degrés au corps tout le mouvement qu'il avoit perdu, précisément comme un pendule qui retombe après avoir, en montant, consommé tout son mouvement (258). Il n'y aura donc point d'intervalle entre la fin du bandement, qu'on peut regarder comme le terme de l'incidence, et le commencement du débandement, qu'on peut regarder comme le premier moment de la réflexion. Mais si on veut prendre pour le moment d'incidence celui où le corps vient à toucher le plan, et pour le moment de réflexion celui où le corps quitte entièrement

le plan, il est évident qu'il y aura un intervalle de temps fini, quoique très-court, entre l'incidence et la réflexion; savoir, le temps que le ressort met à se bander et à se débander.

135. De tout ce que nous venons de dire, il s'ensuit que le ressort est la cause nécessaire de la réflexion; et que la direction du mouvement réfléchi est telle que l'angle de réflexion seroit toujours égal à l'angle d'incidence, si la réaction étoit parfaite. Mais comme c'est là le cas le plus rare, on ne doit pas s'attendre ordinairement, dans la pratique, à avoir des effets bien conformes à la théorie. Communément l'angle de réflexion est plus petit que l'angle d'incidence, non-seulement parce que le ressort n'est pas parfait; mais encore parce que la pesanteur du mobile et la résistance de l'air détruisent une partie des effets. Il n'y a que dans les mouvemens de la lumière (1218) et des fluides aériformes (1019), où ces angles se trouvent parfaitement égaux. Mais quoique cette égalité d'angle n'ait presque jamais lieu, on voit pourtant qu'elle est une règle établie par la nature, et fondées sur des loix connues.

Les jeux de paume et de billard sont presque entièrement fondés sur les règles du mouvement réfléchi, que nous venons d'établir.

Changement de vîtesse et de direction occasionné par un obstacle impénétrable, et qui peut être déplacé; ou choc des corps.

136. Ce changement de vîtesse et de direction est ce qui arrive à un corps qui en choque un autre, qui peut être déplacé. C'est au moyen de ce choc que le mouvement se communique du corps choquant au

corps choqué ; et le déplacement de ce dernier va nous faire connoître les règles suivant lesquelles le mouvement se communique de l'un à l'autre. Quant à la raison métaphysique du passage du mouvement d'un corps à un autre, nous devons avouer de bonne-foi notre ignorance sur la cause première. Ainsi nous ne nous occuperons point de cette question. Nous allons examiner seulement les changemens dont sont susceptibles le mobile et l'obstacle, quand ce dernier peut être déplacé par le choc.

137. Nous pouvons considérer ici deux sortes de corps : les uns mous et sans ressort, ou réputés tels (33) ; et les autres élastiques. L'élasticité de ces derniers change les résultats des loix établies par la nature. Pour bien faire connoître ces loix, nous devons supposer ici des choses qui n'existent pas ; savoir, 1°. que les corps qui se choquent, se meuvent ou dans le vide ou dans un milieu non résistant, et qu'ils n'éprouvent aucun frottement ; 2°. que ces corps ou ont un ressort parfait, ou n'en ont point du tout. De sorte que, dans la pratique, l'effet ne répond jamais exactement à ce qu'exige la loi.

138. Il y a deux sortes de chocs des corps ; savoir, le choc direct, et le choc oblique. Le premier a lieu quand la direction des mouvemens des corps passe par leurs centres de gravité, et le second a lieu quand cette direction n'y passe pas : l'un et l'autre ont des règles particulières ; mais celles du choc direct sont bien plus aisées à déduire que celles du choc oblique ; parce que, dans ce dernier, il y a plusieurs causes qui influent sur le résultat : et l'on ne peut bien en connoître l'effet, qu'autant qu'on connoît toutes les causes qui y contribuent. Pour ne pas trop

compliquer la question, nous ne traiterons ici que du choc direct.

139. Quand deux corps vont se choquer, ou l'un des deux est en repos, ou tous deux sont en mouvement : s'ils se meuvent tous deux, ou ils se meuvent du même sens ou en sens contraire, avec des vîtesses égales ou inégales. Mais avant que ces deux corps se choquent, il y a entre eux un intervalle, qu'il faut qui soit parcouru, ou par un seul ou par les deux, sans quoi il ne peut y avoir de choc. Cet espace ne peut être parcouru que dans un temps fini, et la durée de ce temps mesure la vîtesse respective (62) de ces deux corps, c'est-à-dire, la vîtesse avec laquelle ces deux corps se joignent, soit que l'un des deux soit en repos, soit qu'ils se meuvent tous deux, en même sens ou en sens contraire, avec des vîtesses égales ou inégales.

140. La vîtesse respective étant connue, il faut considérer les masses; car le corps choqué oppose son inertie au corps choquant; et nous avons vu ci-devant (41) que cette résistance est toujours proportionnelle à la masse. Ainsi, plus un corps a de masse, moins il reçoit de vîtesse de la part d'un choc déterminé.

Nous allons parler d'abord du choc des corps non élastiques, ou réputés tels, et ensuite du choc des corps élastiques, auxquels nous supposons un élasticité parfaite.

Choc des corps non élastiques.

141. Ire RÈGLE. *Quand un corps en repos est choqué par un autre corps, la vîtesse du corps choquant se partage entre les deux, selon le rapport des masses.* C'est-à-dire, qu'après le choc les deux corps

se meuvent dans la direction du corps choquant; et la vîtesse commune de ces deux corps est d'autant moindre, que le corps choqué a plus de masse. Si les deux corps sont égaux en masse, la vîtesse commune de ces deux corps, après le choc, est la moitié de celle qu'avoit le corps choquant avant le choc. Si le corps choquant a une masse double de celle du corps choqué, la vîtesse commune, après le choc, est les deux tiers de celle du corps choquant avant le choc. Si le corps choqué a une masse double de celle du corps choquant, la vîtesse cnmmune, après le choc, n'est plus que le tiers de celle du corps choquant avant le choc, etc. En effet, après le choc les deux corps réunis sont comme une seule masse : supposons-les de masses égales, et pesant chacun un kiliogramme; une force capable de transporter, par exemple, à dix mètres, dans un temps donné, une masse d'un kiliogramme ne peut porter qu'à cinq mètres une masse double en pareil temps, et ainsi de tous les autres cas qu'on pourra supposer.

142. Il faut bien remarquer ce qui suit. Dans l'instant du choc il se fait un applatissement aux deux corps, lequel, étant causé par la résistance du corps choqué, est d'autant plus considérable, que ce corps choqué a plus de masse; car, dans ce cas-là, il résiste davantage (41). Pour rendre raison de ces applatissemens, il faut faire attention que les effets les plus prompts, et qui nous paroissent instantanés, ne sont jamais produits que dans un temps fini, c'est-à-dire, dans un temps dont la durée n'est pas la plus courte qu'on puisse imaginer. Lorsque les deux corps commencent à se toucher, les parties les plus avancées du corps choquant, celles qui choquent les premières,

ont déjà perdu une partie de leur vîtesse, pendant que le centre et les parties les plus reculées ont encore toute la leur. Ce n'est donc qu'après quelques instans, fort courts à la vérité, que cette masse ralentie prend une vîtesse également retardée dans toutes ses parties. Mais les parties d'un corps ne peuvent pas se mouvoir plus vîte les unes que les autres, sans que leur position relative, et par conséquent la figure du corps, soit changée. L'applatissement de ce corps est donc un effet et une preuve de sa vîtesse retardée successivement en plusieurs temps. On peut dire la même chose du corps choqué : il ne passe pas tout en un même instant de son état de repos au degré de vîtesse qu'il acquiert; les parties immédiatement exposées au choc se meuvent plustôt que le reste ; ce qui occasionne encore un applatissement et un changement de figure. Et, comme nous venons de le dire, ces applatissemens sont d'autant plus considérables, que les corps ont plus de masse.

143. Puisque, suivant la première règle (141), la vîtesse diminue à proportion que la masse du corps choqué augmente, il s'ensuit que le mouvement doit être insensible après le choc, quand le corps choqué est infiniment plus grand que le corps choquant. C'est en effet ce qui arrive ; car, par exemple, un boulet de canon, qu'on a tiré contre un rempart, paroît avoir perdu tout son mouvement ; la vîtesse qu'il conserve alors, est à celle qu'il a communiquée, comme sa masse est à celle du rempart. On a tiré de ce principe une conséquence qui ne paroît pas exacte, qui est, que la plus grosse masse est toujours déplacée par le choc de la plus petite. Cela pourroit être vrai, si la masse choquée étoit absolument inflexible ; mais

ne l'étant pas, sa résistance sera assez durable pour consumer toute la vîtesse de la petite masse, par l'introcession des parties occasionnée par le choc, et qui produit l'applatissement (142).

144. IIe. RÈGLE. *Quand deux corps qui se meuvent du même sens avec des vîtesses inégales, viennent à se choquer, soit que leurs masses soient égales ou non, ils continuent de se mouvoir ensemble et dans leur première direction, avec une vîtesse commune, moins grande que celle du corps choquant, mais plus grande que celle du corps choqué avant la percussion.* Quand le corps qui a le plus de vîtesse rencontre celui qui en a moins, la lenteur de l'un fait obstacle à l'autre; mais cet obstacle étant mobile, l'excès de vîtesse de l'un sur l'autre doit, selon la première règle (141), se partager entre les deux, suivant le rapport des masses. Car supposons qu'on ôtât à l'un et à l'autre de ces deux corps une quantité de vîtesse égale à celle du plus lent avant le choc, ce dernier, avant d'être choqué, seroit en repos; et la vîtesse du plus vîte ne seroit que ce dont elle excédoit la vîtesse du plus lent. Ce seroit absolument le cas de la première règle; ce seroit un corps en repos choqué par un autre, dont la vîtesse doit se partager entre les deux, suivant le rapport des masses. Que l'on rende maintenant à chacun de ces corps la quantité de vîtesse que nous avons supposé qu'on leur a ôtée, ce sera pour le corps choqué sa première vîtesse, plus celle qu'il a acquise par le choc; et pour le corps choquant, sa première vîtesse, moins celle qu'il a donnée au corps choqué. Supposons, par exemple, deux corps A et B égaux en masses: qu'on donne à A 8 degrés de vîtesse, et à B 4 seulement; A, en choquant B, lui donnera

donnera 2 degrés de vîtesse, moitié de son excès ; et tous deux s'en iront avec une vîtesse commune de 6 degrés. Qu'on ait donné à chacun 4 degrés de vîtesse de moins que nous n'avons supposé, A n'en auroit que ce qui faisoit son excès, savoir 4 degrés, et B seroit en repos. Voilà le cas de la première règle. Rendez à chacun ces 4 degrés, ce sera pour B, corps choqué, 4 degrés de vîtesse première, plus 2 degrés acquis par le choc ; et pour A, corps choquant, 8 degrés de vîtesse première, moins 2 degrés donnés au corps choqué. Il est donc évident que, dans tous les cas, la vîtesse propre du corps choqué est toujours augmentée, et celle du corps choquant toujours diminuée, et cela toujours suivant le rapport des masses. Donc, etc.

145. IIIe. RÈGLE. *Si les deux corps qui doivent se choquer, se meuvent en sens directement contraire, le mouvement périt dans l'un et dans l'autre, ou du moins dans l'un des deux ; s'il en reste après le choc, les deux corps vont du même sens, et la quantité de leur commun mouvement est égale à l'excès de l'un des deux sur l'autre avant le choc.* C'est-à-dire, que si les deux corps ont des quantités égales de mouvement, le mouvement périt dans l'un et dans l'autre, et tous deux sont réduits au repos. Si l'un des deux a plus de mouvement que l'autre, il ne reste de mouvement, après le choc, que l'excès du plus grand sur le plus petit ; ce qui fait le mouvement commun des deux corps. Et comme la quantité du mouvement d'un corps résulte de sa masse multipliée par sa vîtesse (63), il s'ensuit que, si deux corps viennent se heurter avec des vîtesses qui soient en raison inverse des masses, ils sont tous deux réduits au repos, parce

qu'ils se choquent avec des quantités égales de mouvement. L'effort d'un mobile peut donc croître, non-seulement par la vîtesse, mais encore par la masse : c'est pourquoi il arrive souvent qu'un joueur de paume, pour augmenter sa force, demande une raquette plus lourde ; parce qu'en la faisant mouvoir avec la même vîtesse, elle frappe la balle plus fort si elle a plus de masse,

On voit, d'après ce que nous venons de dire du choc des corps non élastiques,

146. 1°. Que lorsqu'après le choc, les directions des mouvemens des corps qui se heurtent sont dans le même sens, il existe alors dans les deux corps réunis, une quantité de mouvement égale à celle qui subsistoit dans l'un des deux ou dans tout les deux, avant le choc.

147. 2°. Que, quand les directions des mouvemens de ces corps sont en sens contraires, il périt du moins une partie du mouvement, s'il ne périt pas tout ; et que s'il en reste après le choc, la quantité qui en demeure est égale à la différence des deux quantités avant le choc.

Choc des Corps élastiques.

148. Dans tout ce que nous avons dit touchant le choc des corps non élastiques, nous avons toujours observé deux effets principaux ; savoir, 1°. une communication de mouvement du corps choquant au corps choqué ; 2°. un changement de figure, ou un applatissement à l'un et à l'autre à l'endroit du contact. Ces deux effets ont, pour cause commune, le choc ou la percussion : c'est par cette action que la

vîtesse se transmet et se distribue uniformément entre les deux masses; et pendant cette répartition, les figures changent par les applatissemens qui sont produits par l'inertie des masses (41).

149. Dans le choc des corps élastiques, la nature suit précisément les mêmes loix : mais comme les parties enfoncées par le choc se rétablissent, ce dernier effet qui se mêle à celui du mouvement communiqué, apporte beaucoup de changement aux résultats.

150. Nous distinguerons donc ici deux sortes de mouvemens; l'un, qui est indépendant du ressort, et que nous nommerons *Mouvement primitif;* l'autre, qui nait de la réaction des parties applaties ou comprimées par le choc, et que nous appellerons *Mouvement de ressort*, ou simplement *Réaction*, qui double toujours le mouvement communiqué.

151. Ire. RÈGLE. *Quand un corps à ressort va frapper un autre corps à ressort qui est en repos, ou qui se meut du même sens que lui, celui-ci, après le choc, se meut dans la direction du corps qui l'a frappé, avec une vîtesse composée de celle qui lui a été donnée immédiatement ou par communication, et de celle qu'il acquiert par sa réaction après le choc; et le corps choquant, dont le ressort agit en sens contraire, perd, en tout ou en partie, ce qu'il avoit gardé de sa première vîtesse; et si son mouvement de ressort excède le restant de sa vîtesse première, il rétrograde suivan la valeur de cet excès. Et dans tous les cas, la vîtesse respective est, après le choc, la même qu'elle étoit auparavant.* Pour bien faire entendre cette règle, supposons d'abord un des corps en repos : 1o. si les deux corps ont des masses égales, par le choc, le corps en

repos recevra, tant par communication que par réaction, une quantité de mouvement égale à celle qu'avoit l'autre avant le choc; et ce dernier sera réduit au repos par son ressort qui détruira le reste de sa vîtesse primitive. Que l'on n'objecte pas que, de deux billes égales en masse, celle qui est poussé contre l'autre sur un tapis, n'est pas réduite au repos. Cela vient de ce qu'on donne à cette bille deux sortes de mouvemens : l'un d'impulsion en avant, et l'autre de rotation sur son axe. Le mouvement d'impulsion est totalement détruit par le choc, comme on vient de le dire : le mouvement de rotation, continuant de subsister, oblige la bille d'avancer; car un corps qui roule sur un plan, ne peut pas ne pas avancer. 2°. Si les masses sont inégales, et que le corps choqué en ait le moins, tous deux, après le choc, iront dans la direction du corps choquant, mais ce dernier aura moins de vîtesse que l'autre. 3°. Si les masses étoient encore inégales, le corps choqué en ayant le plus, ce corps choqué iroit seul dans la direction du corps choquant, et ce dernier rétrograderoit. Supposons maintenant que les deux corps se meuvent du même sens : après le choc, tous deux iront encore du même sens, mais le corps choquant moins vîte; à moins que le corps choqué n'ait beaucoup plus de masse que le choquant, auquel cas ce dernier rétrogradera. Et dans tous les cas, la vîtesse respective (62) sera, après le choc, la même qu'elle étoit auparavant.

152. On verra la raison de tous ces effets; si l'on fait attention que dans le choc des corps à ressort, comme dans celui des corps sans ressort, le mouvement du corps choquant, ou l'excès du mouvement de ce corps sur celui du corps choqué, se communique

à ce dernier suivant le rapport des masses. Mais il faut ajouter à cela, 1°. que la réaction double toujours, dans le corps choqué, la quantité de mouvement que celui-ci acquiert par communication ; 2°. que cette même réaction tend, avec autant de force, à repousser le corps choquant en arrière, et lui fait perdre, dans sa première direction, autant de mouvement qu'il en a déjà perdu par le choc. De sorte que, dans tous les cas, le corps choquant perd une quantité de mouvement égale à celle que reçoit le corps choqué. Ainsi la réaction double toujours ces deux effets : elle double le mouvement communiqué au corps choqué ; et elle double la perte que fait le corps choquant, en le repoussant en arrière. Un ressort qui se débanderoit entre deux corps, produiroit le même effet. Cela explique très-bien le recul des armes à feu, l'élévation des fusées et autres faits semblables. La poudre qui s'enflamme est un ressort qui se débande entre le boulet et la culasse du canon, ainsi qu'entre la fusée et l'air, qu'il frappe assez vîte pour qu'il lui serve de point d'appui.

153. IIe. Règle. *Quand deux corps à ressort, égaux ou inégaux en masses, viennent en sens contraire l'un de l'autre se heurter avec des vîtesses propres, qui soient égales ou inégales ; après le choc, ils se séparent, et leur vîtesse respective est la même qu'avant le choc.* Si ces deux corps étoient sans ressort, ou ils s'arrêteroient réciproquement, ou l'un des deux emporteroit l'autre, comme nous l'avons dit ci-devant (145). Ils se séparent donc en vertu de leur réaction : mais cette réaction est égale à la compression causée par le choc (112) ; et la compression est comme la vîtesse respective avant le choc :

la vîtesse qui en résulte après le choc, doit donc être semblable. L'article ci-dessus (152) fera encore sentir la raison de tous ses effets.

154. A l'égard des corps élastiques, et dont le ressort seroit parfait, l'expérience prouve, 1°. que quand deux corps qui vont dans le même sens, ou dont l'un est en repos, se choquent de façon qu'après le choc ils aillent encore dans le même sens, ou que l'un des deux reste en repos, la somme des mouvemens est la même après comme avant la percussion :

155. 2°. Que si l'un des deux corps retourne en arrière, la quantité du mouvement se trouve plus grande après qu'avant le choc. Il y a plus, c'est que la quantité du mouvement du corps choqué excède même celle du mouvement primitif avant le contact; et cet excès de mouvement, dans le corps choqué, égale la quantité de celui qui rétrograde après le choc :

156. 3°. Que quand les deux corps viennent se heurter en sens contraire, après le choc, la somme des mouvemens n'est jamais plus grande qu'avant le le choo : elle peut même être moindre; auquel cas la perte est égale à la quantité que l'un des deux corps gagne.

157. Si l'on veut voir par expérience l'énoncé des règles que suivent les corps dans leur choc, que je suppose toujours être le choc direct (138), il faut avoir soin de se servir de corps sphériques, et que leurs centres de gravité se trouvent dans la direction de leur mouvement.

158. Il faut observer qu'on ne doit point estimer l'impulsion des fluides suivant les règles que nous venons d'établir touchant le choc des corps solides,

parce que ces derniers, étant composés de parties qui ont entre elles une forte adhérence, agissent selon toute leur masse et leur vîtesse actuelle. Il n'en est pas de même de l'action des fluides : vu la mobilité respective de leurs parties, il n'y a que celles qui choquent l'obstacle qui fassent effort ; les autres ne perdent point leur vîtesse, et par conséquent ne contribuent point à cet effort. C'est pourquoi l'eau et le vent ne communiquent pas tout de suite leur vîtesse à un mobile : ce n'est qu'après un certain temps que ce mobile reçoit tout le mouvement qui peut lui être transmis. C'est ce dont on peut se convaincre, en observant les aîles d'un moulin à vent, ou la roue d'un moulin à l'eau, quand elles commencent à se mouvoir.

Récapitulation.

Si les corps sont sans ressort, le mouvement se communique en raison directe des masses : il y a compression au point de contact, causée par l'inertie.

Quand les corps vont dans le même sens, il y a, après le choc, la même quantité de mouvement qu'il y avoit avant le choc.

Quand les corps vont se heurter en sens contraire, le mouvement périt en tout ou en partie : s'il en reste après le choc, ce n'est que l'excès du plus grand sur le plus petit.

Si les corps sont élastiques, le mouvement se communique de l'un à l'autre, suivant les mêmes loix suivant lesquelles il se communique dans les corps sans ressort ; mais dans les corps élastiques, le ressort double le mouvement communiqué : il double aussi la perte de mouvement que fait celui qui en communique à l'autre.

Quand, après le choc, les corps vont dans le même sens, il y a, après ce choc, la même quantité de mouvement qu'il y avoit avant le choc : mais, si l'un des deux rétrograde, il y a, après le choc, plus de mouvement qu'il n'y en avoit avant le choc : il y en a même plus dans le corps choqué qu'il n'y en avoit dans le corps choquant; et ce *plus* est égal à la quantité du mouvement rétrograde du corps choquant.

Quand les corps vont se heurter en sens contraires, après le choc, la somme des mouvemens n'est jamais plus grande qu'avant le choc : elle peut même être moindre; auquel cas, ce *moins* est égal à la quantité de mouvement que l'un des deux corps gagne.

Dans tous les cas, la vîtesse respective est la même avant et après le choc.

CHAPITRE IV.

Des Loix du Mouvement composé.

159. Le mouvement composé (68) a ses loix, comme le mouvement simple : elles peuvent toutes se rapporter à une seule, et dont elles ne sont que des conséquences. Voici cette loi.

Loi du Mouvement composé.

160. *Quand un corps est sollicité au mouvement par plusieurs puissances qui agissent en même temps et selon différentes directions, ou il demeure en équilibre, ou bien il prend un mouvement qui suit le rapport des puissances entre elles pour la vîtesse; et il*

reçoit une direction moyenne entre celles des puissances auxquelles il obéit.

Quand les puissances qui agissent ensemble ont des directions diamétralement opposées, ou elles ont des forces égales, ou elles ont des forces inégales : dans le cas d'égalité, le mobile demeure en équilibre. Si leurs forces sont inégales, le mobile obéit à la plus forte, non pas suivant toute sa valeur, mais seulement suivant la valeur de son excès sur l'autre, parce que la plus foible détruit en l'autre une force égale à la sienne : il ne reste donc à la plus forte que son excès pour agir sur le mobile. Ainsi, lorsque les puissances sont directement opposées, il en résulte ou le repos, ou le mouvement simple, mais retardé. Mais si les puissances ne sont qu'obliquement opposées, c'est-à-dire, si leurs directions se croisent, ou font angle au mobile, alors le mouvement se compose en vîtesse et en direction.

Le mouvement composé peut se faire, ou en ligne droite, ou en ligne courbe. Voyons quelles sont les conditions nécessaires pour l'un ou l'autre de ces mouvemens.

Mouvement composé en ligne droite.

161. Le mouvement composé se fait toujours en ligne droite, quand le mobile obéit à des puissances qui persévèrent dans le même rapport entr'elles, soit qu'elles ne reçoivent aucun changement, soit que les changemens soient égaux ou proportionnels de part et d'autre, parce qu'alors les effets de chaque instant se rencontrent tous dans la même direction. Supposons donc ces rapports constans.

162. La vîtesse et la direction d'un corps qui se meut d'un mouvement composé, se mesurent par la diagonale d'un parallélogramme, dont deux des côtés représentent les puissances. Supposons que le mobile M (*fig.* 14) soit tiré en même temps par deux forces, représentées par les deux lignes M C, M G, qui font angle ensemble au mobile M : la diagonale M I du parallélogramme M G I C, dont ces deux lignes M C, M G, sont deux côtés, mesure la vîtesse et détermine la direction que prendra le mobile M en vertu de ces deux forces. Car supposons M C une règle mobile, sur laquelle le mobile M descend avec une vîtesse uniforme, de M en C, en six instans égaux; tandis que la règle M C avance parallèlement à elle-même, avec une vîtesse uniforme, de M en G, en six instans égaux aux premiers : il est clair qu'à la fin du premier instant le mobile M sera descendu en A; et la règle M C sera avancée en K : donc alors le point A et le mobile M, qui y est parvenu, se trouveront au point *a*. A la fin du second instant le mobile M sera descendu en B; et la règle M C sera avancée en L : le mobile, descendu en B, se trouvera donc au point *b*. Par la même raison, à la fin du troisième instant le mobile M sera en *d* : à la fin du quatrième instant il sera en *e*, etc. Enfin, après les six instans écoulés, le mobile M sera en I, après avoir parcouru successivement tous les points de la diagonale M I; et il sera arrivé, mais par un chemin plus court, aux termes des deux tendances; car le mobile M, arrivé en I, sera descendu de la quantité G I égale à M C, et avancé de la quantité C I égale à M G.

163. Cette diagonale, qui marque la vîtesse du mobile, est plus ou moins longue avec des puissances

de même valeur; suivant que les directions de ces puissances font entr'elles des angles plus ou moins aigus. Si l'angle qu'elles forment est droit, elles ne se nuisent ni ne s'entr'aident : le mobile est porté aussi loin que l'exige chacune des puissances. Ainsi le mobile M (*fig.* 15.) étant commandé par les deux puissances M A, M B, qui font entr'elles l'angle droit A M B, suivra la diagonale M C. Mais si la puissance M B étoit placée en M D, et faisoit avec l'autre puissance l'angle obtus A M D, la diagonale, que suivroit le mobile M, seroit M E plus courte que M C. Si, au contraire, la puissance M B se plaçoit en M F, et faisoit avec la puissance M A l'angle aigu A M F, la diagonale, que suivroit le mobile M, seroit M G plus longue que M C : et cette diagonale s'alongeroit de plus en plus, si l'angle, que forment ensemble les directions des puissances, devenoit de plus en plus aigu.

164. La diagonale, comme nous l'avons dit ci-dessus (162), détermine encore la direction que prendra le mobile. Si les deux puissances sont égales, comme M G, M C (*fig.* 14), la diagonale M I est également inclinée à l'une et à l'autre, et fait de part et d'autre, avec la direction de chacune de ces puissances, des angles égaux. Mais si les puissances sont inégales, comme M A, M B (*fig.* 15), la diagonale est plus inclinée à la plus grande des deux puissances, et fait, avec la direction de la plus grande, l'angle A M C plus petit que l'angle C M B, qu'elle forme avec la direction de la plus petite.

165. Il suit de ce que nous venons de dire, que, si l'on connoît l'angle de direction des puissances et leur degré de force, il sera aisé de connoître l'effet

qu'elles doiveut produire sur le mobile, c'est-à-dire, son degré de vîtesse et la direction qu'il doit prendre : car en exprimant la valeur des puissances et leur direction par des lignes, par exemple, M A et M D, qui se joignent au point M, et en établissant un parallélogramme sur ces deux lignes, qui en représentent deux côtés, la diagonale M E donnera ce que l'on cherche.

166. Il suit encore que, si l'on connoît l'effet commun de deux puissances sur un mobile, et la direction et le degré de force de l'une des deux, on pourra juger de la valeur et de la position de l'autre. Si je sais, par exemple, qu'un mobile M a été porté de M en G par l'action de deux forces, dont une est exprimée par M A, je tire du point A au point G la ligne A G, et je suis sûr que l'autre puissance sera représentée par une ligne M F, tirée du point M, parallèle et égale à A G.

167. Pour que le mouvement se compose, il n'est point nécessaire que les puissances continuent d'agir pendant toute la durée du mouvement. Deux forces une fois imprimées (comme, par exemple, deux coups de marteau) par des causes qui cessent ensuite d'agir, produisent le même effet, et composent le mouvement du mobile, comme si leurs actions étoient continues. C'est pour cette raison que ce que l'on jette par la portière d'un carrosse qui roule actuellement, n'arrive jamais à l'endroit où la main le lance. Car, outre l'impulsion de la main, il y a de plus le mouvement de la voiture, qui est commun au mobile et à la main, et qui fait une seconde puissance, dont la direction se croise avec celle que la main donne au mobile : ce mobile doit donc suivre la diagonale d'un

parallélogramme, dont ces deux puissances représentent deux côtés. Il suit de là que, si l'on vouloit sauter par la portière d'un carrosse, dont les chevaux auroient pris le mors aux dents, et qu'il se trouvât là un petit tas de boue, un moyen sûr de n'y pas tomber, seroit de tendre à se jeter dedans.

Mouvement composé en ligne courbe.

168. Le mouvement composé se fait toujours en ligne droite, comme nous l'avons dit ci-dessus (161), quand le mobile obéit à des puissances qui persevèrent dans le même rapport entr'elles. Il n'en est pas de même si le rapport des puissances change: si, par exemple, de deux puissances, l'une devient ou plus forte ou plus foible qu'elle n'étoit, tandis que l'autre ne change pas; ou si, changeant toutes deux elles ne changent pas proportionnellement. Dans ces cas-là, le produit de chaque instant est bien une ligne droite; car tous les corps commencent toujours à se mouvoir ainsi (74): mais chacune de ces lignes droites a sa direction particulière, qui change à chaque instant selon le changement de rapport des puissances. Supposons que le mobile M (*fig.* 16) soit sollicité à se mouvoir en même temps par deux puissances représentées par les deux lignes M F, M 6; que la puissance M F soit uniforme, c'est-à-dire qu'elle tende à faire parcourir au mobile M des espaces égaux en temps égaux, comme M A, A B, B C, etc. et que la puissance M 6 soit accélératrice, c'est-à-dire, qu'elle tende à faire parcourir au mobile M, en temps égaux, des espaces qui augmentent de plus en plus, comme M 1; 1, 2; 2, 3, etc. Si nous faisons ici l'application de ce que nous avons dit ci-dessus (162), nous verrons

que le mobile M parcourra dans le premier instant la diagonale M *a*; dans le second, la diagonale *a b*; dans le troisième, la diagonale *b c*; dans le quatrième, la diagonale *c d*, etc. Mais chacune de ces diagonales a une direction différente de celles des diagonales qui la précèdent; et si nous les prenions infiniment courtes, en supposant les instans infiniment petits, leur suite formeroit la courbe M *a b c d e f*. Tels sont à-peu-près les mouvemens de tous les corps graves projetés hors de la perpendiculaire à l'horizon : tels sont une pierre qu'on lance avec la main, une bombe, un boulet, etc. l'impulsion qu'on leur donne est une force dont l'action est, de sa nature, égale dans tous les instans, et leur pesanteur est une puissance dont l'action augmente de plus en plus (216). Le corps projeté décrit donc une ligne courbe, qui suit la nature du changement de rapport de ces deux puissances.

169. Tout le monde est convaincu de la courbure de cette ligne, relativement à la pierre et à la bombe que nous venons de donner pour exemple (168). Il n'en est pas de même du boulet; on est porté à croire qu'il arrive au but par une ligne droite; et ce qui le fait croire, est que la vîtesse qui lui vient de l'impulsion de la poudre est infiniment plus grande que celle qui lui vient de sa pesanteur; de sorte qu'il descend peu en comparaison de la quantité dont il avance. Mais il suffit d'observer la manière dont le canon est construit, pour se convaincre que le boulet arrive au but par un mouvement vraiment composé. Ce boulet est, comme nous venons de le dire, exposé à l'action de deux puissances; l'une qui est l'impulsion de la poudre enflammée, et l'autre qui est sa

pesanteur. La première est uniforme, et l'autre accélératrice. Aussitôt que le boulet est hors du canon, non-seulement il avance dans la direction de l'impulsion qu'il a reçue, mais encore il descend en obéissant à l'action de sa pesanteur, qui est capable de le faire tomber de 15 pieds dans la première seconde, de 45 pieds dans la suivante, etc. (216). Si donc le canon étoit extérieurement cylindrique, comme l'est sa cavité, la ligne de mire seroit parallèle à la direction que reçoit le boulet en sortant. Et, comme le boulet descend aussitôt qu'il est sorti, il faudroit diriger le canon vers un point plus élavé que le but que l'on veut atteindre. Or, il seroit très-difficile d'estimer au juste la quantité dont il faudroit pour cela relever le canon. Mais le canon ayant extérieurement une forme conique, est plus épais vers la culasse que vers son embouchure; ce qui fait que la ligne de mire A B (*fig.* 17) et la véritable direction D E du boulet se croisent en chemin, et font en C un angle d'autant plus ouvert, que la différence entre l'épaisseur qu'a le canon vers la culasse, et celle qu'il a vers son embouchure, est plus considérable. De sorte que, lorsqu'on croit diriger le boulet en B, on le dirige vraiment en E; et si la distance qu'il y a de E à B est égale à la quantité dont le boulet descend, pendant le temps qu'il est en chemin, il arrive au but aussi sûrement que s'il y étoit venu par une ligne parfaitement droite. Pour cela, il faut que l'on tire à une distance convenable, que l'impulsion de la poudre soit proportionnée au poids du boulet, et que l'angle C, formé par la ligne de mire A B et la vraie direction D E du boulet, que l'on peut regarder comme le prolongement de l'axe du canon, soit dans une

bonne proportion, c'est-à-dire, que l'écartement du point E au point B, soit de 4873 millimètres (15 pieds) à la distance de 389 mètres 807 millimètres (200 toises) qui est celle que le boulet parcourt dans la première seconde. Alors l'effort de la pesanteur fera descendre le boulet de la quantité E B, et l'on touchera par un mouvement vraiment composé, le but qu'on s'est proposé d'atteindre. Tous les écoulemens d'eau, non perpendiculaires à l'horizon, décrivent des courbes de cette espèce, et ces courbes ont plus ou moins d'amplitude, suivant la vîtesse de l'écoulement, qui est la puissance qui se combine avec celle de la pesanteur.

170. Ceci peut encore rendre raison d'un fait qui paroît d'abord singulier, et auquel on ne s'attendroit pas si l'on n'y faisoit pas réflexion. Ce fait est qu'un mousse qui se laisse tomber du haut en bas de la hune, pendant que le vaisseau est à la voile, tombe au pied du mât, et non pas dans la mer, quoique dans le moment qu'il atteint le pont, le vaisseau soit déjà bien loin de l'endroit où le mousse a commencé à tomber. C'est que ce mousse tombe par une ligne courbe, et non pas par une ligne verticale. A la vérité, cette ligne paroîtroit verticale à ceux qui seroient sur le vaisseau; mais on en appercevroit bien la courbure, si l'on étoit sur le rivage; car il est bien vrai que la chûte du mousse seroit parallère au mât qui est droit: mais les différens points du mât auxquels répondroit le mousse en tombant, seroient plus avancés les uns que les autres dans la direction horizontale, et leur suite se trouveroit dans une ligne courbe, parce que la chûte se fait avec une vîtesse accélérée. Pour bien entendre ceci, supposons M 6 (*fig.* 16) le mât du vaisseau;

vaisseau ; le mousse placé en M ; 6*f*, le chemin que fait le vaisseau pendant que le mousse tombe de M en 6. Le mousse a un mouvement horizontal commun avec le mât, dont la vîtesse est uniforme (57) : sitôt qu'il échappe de la hune, sa pesanteur le fait tomber avec une vîtesse accélérée (58). Lorsque le mousse, par sa chûte, sera arrivé de M en 1, le point 1 du mât sera en *a* ; lorsqu'il sera tombé en 2, le point 2 sera en *b* ; lorsqu'il sera en 3, le point 3 sera en *c*, etc. de sorte qu'à la fin de la chûte, le point 6 du mât et le mousse seront arrivés en *f* ; et le mousse sera tombé par la ligne courbe M *a b c d e f*. On peut, de la même manière, rendre raison de tous les faits analogues à celui-ci.

171. De tout ce que nous venons de dire, il suit que le mouvement en ligne courbe ne peut pas être l'effet d'une seule puissance : il ne suffit pas même qu'il y en ait plusieurs qui agissent en même tems ; il faut encore que ces puissances changent de rapport entr'elles, sans quoi le mouvement se fera en ligne droite.

CHAPITRE V.

Des Forces centrales.

172. Tout ce que nous avons dit du mouvement et de ses loix, prouve qu'il n'y a aucun mouvement qui soit naturellement dirigé en ligne courbe. Un corps une fois déterminé à se mouvoir, soit par une seule cause, soit par plusieurs qui agissent ensemble,

tend, en vertu de la première loi (74), à persévérer dans cet état; et cet état consiste à passer d'un terme à un autre par la voie la plus courte, qui est la ligne droite. Si donc on voit un mobile décrire une ligne courbe, on doit considérer le chemin qu'il fait comme une suite non interrompue de mouvemens en lignes droites, toutes très-courtes, et dont les directions particulières changent à chaque instant, et forment entr'elles des angles fort obtus, comme nous l'avons fait voir ci-dessus. (168). On a vu que cette suite de mouvemens en lignes droites ne peut pas être l'effet d'une seule puissance : plusieurs même ne suffisent pas, si elles ne changent pas continuellement de rapports entr'elles (171). Mais ces rapports peuvent changer, non-seulement quant à l'intensité ou la force, comme nous venons de le voir; mais ils peuvent varier aussi quant à la direction des puissances. C'est sous ce dernier point de vue que nous allons considérer le mouvement en ligne courbe.

173. Supposons que le mobile A (*fig.* 18) soit sollicité à se mouvoir par deux puissances A B, A C, dont les directions fassent entr'elles un angle droit au point A, et dont la force de la première soit à la force de la seconde, comme 3 est à 1. Le mouvement composé de ces deux forces commencera par A *d*, et continueroit vers *l*, *m*, D, si rien ne changeoit dans ces forces : mais si, une fois cette nouvelle direction imprimée, la puissance qui étoit en A C se trouve placée en *d* H, faisant encore angle droit avec la nouvelle direction *d* D, comme elle le faisoit d'abord avec la direction A B, le mouvement se composera de nouveau, et le mobile ira de *d* en *e* : si alors cette puissance se trouve placée en *e* I, faisant encore

angle droit avec *e* E, le mobile se portera de *e* en *f*: s'il continue d'arriver pareille chose, le mobile se portera de *f* en *g*, puis en *h*, etc. de sorte que ces directions continuant de changer ainsi, finiroient par aboutir au point A, après avoir fait le tour entier. Ce que nous venons de supposer n'est point un cas métaphysique: cela se trouve réellement dans le mouvement d'une fronde, ou de tout autre corps qu'on fait tourner au bout d'une corde; car la main qui tient la corde, passant successivement par les points C, H, I, K, etc. fait passer la corde par les positions A C, *d* H, *e* I, *f* K, etc. et comme cette corde reste toujours de même longueur, elle représente une puissance qui ne varie que par sa position. Si nous considérions ces élémens A *d*, *de*, *ef*, *fg*, etc. comme infiniment courts, leur suite formeroit une courbe régulière, qui seroit un cercle.

174. Tout corps qui circule, le fait donc en vertu de deux forces: si l'une des deux cessoit d'agir, le corps cesseroit de circuler, parce qu'il ne seroit plus commandé que par une puissance, comme, par exemple, si la corde d'une fronde venoit à casser, lorsqu'elle se trouve en *d* H ou en *e* I, la pierre s'en iroit ou par *d* D ou par *e* E, lignes que l'on nomme *tangentes*. Tous les corps qui circulent font donc un continuel effort pour ne plus circuler, puisque, s'ils étoient libres, ils s'échapperoient par une tangente. Mais tendre à s'échapper par la tengente, ou faire effort pour s'éloigner du centre autour duquel le corps circule, sont deux expressions qu'on peut regarder comme synonymes; car si le mobile A, arrivé en *d*, au lieu d'aller de *d* en *e*, continuoit de *d* en *l*, en *m*, en D, il s'écarteroit de plus en plus des points I, K, etc.

et par conséquent du centre de sa circulation. Tout corps qui circule, sitôt qu'il commence à circuler, reçoit donc, par cela même, une tendance à s'éloigner du centre de sa circulation; et si cette tendance n'a pas son effet, c'est que ce corps est retenu ou poussé vers ce centre par une puissance contraire.

175. Ce sont ces deux forces qui produisent le mouvement en ligne courbe, et qui sollicitent continuellement le mobile, l'une à s'éloigner, et l'autre à s'approcher du centre, que l'on nomme *forces centrales*; et pour les distinguer l'une de l'autre, on appelle la première *force centrifuge*, et l'autre *force centripète*.

176. Ces deux forces sont directement opposées l'une à l'autre; car, quoique la force centrifuge ait sa direction par la tangente B D (*fig.* 19), et que la direction de la force centripète soit suivant celle du rayon B C, lesquelles font ensemble un angle droit, il est cependant certain que le rayon prolongé C A seroit, en tournant, coupé par la tangente B D dans une suite de points E, F, D, qui vont tous en s'écartant de plus en plus du centre C. Le corps qui s'en va par la tangente, fait donc la même chose que s'il glissoit réellement suivant le prolongement du rayon. Si l'on veut s'en assurer, qu'on fasse l'expérience suivante. A l'extrémité d'une verge de bois C *g* (*fig* 20), qui puisse tourner sur le point C, adaptez une petite lanterne quarrée *g a d*, vitrée des quatre côtés : placez librement au milieu de la lanterne une bille d'acier *b*, et faites tourner la règle; le verre *d* sera cassé. Si la bille *b* ne suivoit que la tangente *b f*, ce seroit le verre *a* qui seroit cassé : puisque c'est le

verre *d* qui l'est; donc la bille *b* suit le prolongement *b e* du rayon C *g*: mais ce rayon, en tournant, a son prolongement *b e* coupé successivement dans tous ses points par la tangente *b f*. Donc la bille *b*, en s'en allant par la tangente *b f*, suit réellement le prolongement *b e* du rayon. C'est par cette raison que la corde d'une fronde demeure tendue pendant qu'on la fait tourner, puisque la pierre qui tend alors à s'en aller, par le prolongement de la corde, presse contre le fond de la fronde. La force centrifuge tend donc à éloigner le mobile directement du centre, tandis que la force centripète tend directement à l'en rapprocher.

177. Les planètes sont en proie à ces deux forces: leur force centrifuge, résultante de leur mouvement de rotation (174), tend à tous les instans à les écarter du centre de leur mouvement; et leur force centripète, résultante de la gravitation générale (194), tend à les en rapprocher. De ces deux forces opposées naît un mouvement composé en ligne courbe, par lequel chaque planète décrit son orbite, qui est une courbe relative à la nature des forces qui l'animent.

178. Les forces centrales ont lieu dans toutes les substances, soit solides, soit fluides, toutes les fois que leur mouvement se fait en ligne courbe, c'est-à-dire, que toutes ont une force centripète, résultante de leur gravité; et toutes acquièrent une force centrifuge, sitôt qu'elles commencent à se mouvoir en ligne courbe (174). Il n'y a là-dessus aucune exception. Faites tourner un corps solide quelconque; si la force qui le retient ou le pousse vers le centre de son mouvement, s'affoiblit ou cesse d'agir, vous le verrez s'écarter de ce centre. Faites de même tourner

de l'eau, vous lui verrez faire la même chose, même dans une direction opposée à celle de sa pesanteur; pourvu que la force centrifuge qu'elle acquiert par son mouvement de rotation, soit supérieure à l'effort de sa pesanteur.

179. Sur ce principe, on a construit des machines, dans lesquelles on a employé différens moyens pour faire tourner l'eau, et lui faire, par-là, acquérir une force centrifuge capable de l'élever malgré son poids. On en peut voir un grand nombre dans le *Recueil des machines de Ramelli*, et dans celui des *machines approuvées par l'Académie des sciences, tom. VI, pag. 9 et suivantes.* Sur ce même principe on a fait des soufflets de forge. *Ibid. tom. V, pag. 41*; des cribles, des vans, etc. pour nettoyer le bled. *Desaguilliers* (*Trans. phil. n°. 437*) a fait construire des machines à-peu-près semblables, et toujours sur le même principe, pour renouveler l'air de la chambre d'un malade, des lieux qui deviennent mal sains par le grand nombre ou par le mauvais état des personnes qui les remplissent: comme les salles de spectacle, les infirmeries, les hôpitaux, etc.

Voyons maintenant comment on estime la valeur des forces centrales.

180. La valeur de la force centripète d'un corps qui circule, ou la quantité dont ce corps se rapprocheroit, dans un temps donné, du centre de sa révolution, si sa force centrifuge cessoit d'agir sur lui, est égale au quarré de la portion de la courbe qu'il décrit dans le même temps, divisé par le diamètre de cette courbe; car *Huyghens* et *Newton* ont démontré (*de vi centrifugâ, Huygh. Opera. tom. II*, et *Principes mathém. de la philosophie naturelle, liv. I*,

prop. 4, pag. 54) qu'un corps qui fait sa révolution dans un cercle, se rapprocheroit, dans un temps donné, du centre de ce cercle, par sa seule force centripète, d'une quantité égale au quarré de l'arc qu'il décrit dans le même temps, divisé par le diamètre du cercle. D'où il suit que ce corps, en vertu de sa seule force centripète, arriveroit au centre de son mouvement en moins de temps qu'il ne lui en faudroit pour parcourir les $\frac{3}{4}$ de sa révolution.

181. Pour connoître la valeur de la force centrifuge, il faut avoir égard à trois choses : 1°. à la masse du corps qui circule; 2°. à sa distance au centre de sa révolution; 3°. à sa vîtesse. Pour mesurer cette vîtesse, on a égard à deux choses : 1°. à la grandeur de la révolution; 2°. au temps employé à la faire. Ce temps est ce qu'on appelle *temps périodique*; et la révolution est la courbe que décrit le mobile, à compter du point d'où il part, jusqu'à ce qu'il se rencontre sur ce même point, après un tour entier. La valeur de la force centrifuge d'un corps qui circule, est déterminée par le produit de sa masse multipliée par le quarré de sa vîtesse, divisé par sa distance au centre de sa circulation. Ce qui peut s'exprimer par la formule suivante, en appelant F la force centrifuge de ce corps; M, sa masse; D, sa distance au centre de sa circulation; et V, sa vîtesse. $F = \frac{MV^2}{D}$.

Maintenant, si nous voulons comparer entr'elles les forces centrifuges des deux corps, appelons f la force centrifuge de l'autre corps; m, sa masse; d, sa distance au centre de sa circulation; et u, sa vîtesse. De la règle que nous venons d'établir (181), on peut inférer les phénomènes suivans.

182. 1°. *Les forces centrifuges de deux corps qui se meuvent avec la même vîtesse à égales distances du centre, sont entr'elles comme les masses de ces corps;* ce qui s'exprime par cette formule, $F : f :: M : m$. C'est-à-dire, que si une de ces deux masses est double de l'autre, la force centrifuge de cette masse est double de celle de l'autre. De là il peut arriver que la force centripète d'un corps soit l'effet de la force centrifuge prévalante de l'autre qui circule avec lui. Le fermier qui vanne son bled nous en donne un exemple. La bâle et le bled circulant ensemble sur le van, et la bâle ayant moins de masse que le bled, prend une force centrifuge moindre, et est, par cette raison-là, contrainte de se porter vers le centre. Les corps qui flottent sur une eau tournante, ayant moins de masse que l'eau qui circule avec eux, puisqu'ils flottent sur elle, sont de même contraints de se porter vers le centre. Un bateau, en pareil cas, courroit risque d'être englouti. Il faut donc éviter, autant qu'on peut, de pareils endroits.

183. 2°. *Les forces centrifuges de deux corps égaux, qui se meuvent dans des temps périodiques égaux à différentes distances du centre, sont entr'elles comme ces distances au centre.* Ce qui s'exprime par cette formule, $F : f :: D : d$. C'est-à-dire, que si une de ces distances est double de l'autre, celui des corps qui se meut à cette distance double, a une vîtesse double de celle de l'autre : le produit de sa masse multipliée par le quarré de sa vîtesse sera donc quadruple de celle de l'autre, et n'aura qu'un diviseur double; le quotient, qui donne la valeur de la force centrifuge, sera donc double.

184. 3°. *Les forces centrifuges de deux corps, dont*

les temps périodiques sont égaux, et dont les masses sont en raison inverse de leurs distances au centre, sont égales entr'elles. Ce qu'on peut exprimer par cette formule, $F : f : : M D : m d$. Ici la masse simple a une vîtesse double, puisqu'elle est à une distance double; son produit par le quarré de sa vîtesse est donc double de celui de l'autre masse : mais elle a un diviseur double; ce qui produit l'égalité des résultats.

185. 4°. *Les forces centrifuges de deux corps égaux, qui se meuvent à égales distances du centre avec des vîtesses différentes, sont entr'elles comme les quarrés de ces vîtesses.* Ce qui s'exprime par cette formule, $F : f : : V^2 : u^2$. Ici tout est égal de par et d'autre, excepté les vîtessses, dont les quarrés sont les multiplicateurs; les forces centrifuges doivent être entre elles comme les quarrés de ces vîtesses.

186. 5°. *Les forces centrifuges de deux corps inégaux, qui se meuvent à égales distances du centre avec des vîtesses différentes, sont entr'elles comme les produits de leurs masses multipliées par le quaré de leurs vîtesses.* Ce qui s'exprime par cette formule, $F : f : : M V^2 : m u^2$. Puisqu'ici les diviseurs sont égaux, les forces doivent être entr'elles comme sont entr'eux les produits de leurs masses multipliées par le quarré de leurs vîtesses, avant d'être divisés par la distance au centre.

187. 6°. *Les forces centrifuges de deux corps égaux, qui se meuvent avec des vîtesses égales à différentes distances du centre, sont entr'elles en raison inverse de ces distances au centre;* c'est-à-dire, que cette force est plus grande dans le corps qui circule à la plus petite distance du centre. Ce qui s'exprime par cette formule, $F : f : : d : D$. Puisqu'ici tout est égal

de part et d'autre, excepté les diviseurs, il est clair que plus le diviseur est grand, plus le quotient est petit; les forces centrifuges qui sont exprimées par les quotiens, doivent donc être en raison inverse de ces diviseurs, lesquels sont les distances au centre.

188. 7°. *Les forces centrifuges de deux corps inégaux, qui se meuvent avec des vîtesses égales à différentes distances du centre, sont entr'elles comme les masses de ces corps multipliées par les distances au centre l'un de l'autre;* c'est-à-dire, que, pour avoir ce rapport, on multiplie la masse d'un de ces corps par la distance au centre de l'autre : et *vice versâ.* Ce qui s'exprime par cette formule, $F : f :: M\,d : m\,D$. Puisque les vîtesses sont égales de part et d'autre, il est clair que les masses sont entr'elles comme les produits de ces masses multipliées par le quarré de leur vîtesse : il est donc égal de diviser ces produits, ou simplement les masses, par leur distance au centre; ou de multiplier les masses par les distances au centre l'une de l'autre.

189. 8°. *Les forces centrifuges de deux corps inégaux, qui se meuvent avec des vîtesses inégales à différentes distances du centre, sont entr'elles comme les produits des masses de ces corps par le quarré de leurs vîtesses propres, multipliées par les distances au centre l'un de l'autre;* c'est-à-dire, que, pour avoir ce rapport, on cherche le produit de la masse d'un de ces corps par le quarré de sa vîtesse propre, et on le multiplie par la distance au centre de l'autre corps, au lieu de le diviser par sa propre distance au centre; et *vice versâ.* Ce qui s'exprime par cette formule, $F : f :: M\,V^2\,d : m\,u^2\,D$. Il est aisé de se convaincre, en cherchant la valeur de la force centrifuge de cha-

cun de ces corps, par le moyen de la règle établie ci-dessus (181), qu'il est encore égal ici de diviser ces produits chacun par la propre distance au centre de circulation de chacun de ces corps, ou de les multiplier par les distances au centre l'un de l'autre.

190. Si les forces centrales d'un corps se font équilibre, c'est-à-dire, si la force centripète d'un corps fait équilibre à la force centrifuge de ce même corps, ce corps continuera de tourner sans s'approcher ni s'éloigner du centre de sa circulation; et il décrira un cercle.

191. Mais si les rapports de ces forces changent; si, par exemple, l'une des deux devient plus forte ou plus foible qu'elle n'étoit, l'autre demeurant la même, le corps décrira une courbe qui suivra la nature de ces changemens de rapports. Les mouvemens des corps célestes s'exécutent suivant ces principes, comme nous le verrons dans la suite (1760).

192. Si ces rapports, une fois changés, se rétablissent avant la fin de la révolution, la courbe que décrira le mobile, sera une courbe rentrante sur elle-même : telle est, par exemple, une ellipse.

193. Mais si ces rapports ne se rétablissent point; si, par exemple, la force centripète va toujours en diminuant, la courbe ne sera point rentrante sur elle-même : le mobile, en s'éloignant du centre de son mouvement, décrira des spires plus ou moins régulières, suivant le progrès de la diminution de cette force centripète.

CHAPITRE VI.

De la Gravité ou Gravitation des Corps.

194. On a donné le nom de *Gravité* ou de *Gravitation* à la force par laquelle tous les corps tendent les uns vers les autres. On a aussi appelé cette force *Attraction*. Tous les corps de la Nature se comportent entre eux comme s'ils s'attiroient mutuellement, ou comme s'ils étoient poussés les uns vers les autres par une puissance extérieure : et cette force, quelle qu'elle soit, paroît agir en raison directe des masses, et en raison inverse du quarré de la distance. Mais les corps s'attirent-ils réellement les uns les autres? ou sont-ils poussés les uns vers les autres par une puissance extéricure ? Voilà ce que l'on ignore complétement. Cette impulsion n'a été que supposée, et n'a jamais été prouvée. L'attraction inhérente dans les corps, comme s'ils agissoient hors d'eux-mêmes et sans intermède, est inconcevable. En effet, *Newton* lui-même n'a jamais donné l'attraction comme la cause physique de la gravité des corps : il s'est seulement servi de ce mot pour énoncer le fait, et non pas pour en rendre raison, comme il le dit lui-même dans ses *Princ. mathém. de la Philosop. nat. pag. 7, édition de Paris*, 1759. Voici ses termes : « Au reste, » je prends ici dans le même sens les attractions et les » impulsions accélératrices et motrices; et je me sers » indifféremment des mots d'*impulsion*, d'*attraction*, » et de *propension* quelconque vers un centre : car je » considère ces forces mathématiquement et non phy-

» siquement : ainsi le lecteur doit bien se garder de » croire que j'ai voulu désigner par ces mots une » espèce d'action, de cause ou de raison physique ; » et lorsque je dis que les centres attirent, lorsque je » parle de leurs forces, il ne doit pas penser que j'aie » voulu attribuer aucune force réelle à ces centres, » que je considère comme des points mathématiques». Il suit de là que nous ignorons encore quelle est la cause physique de la gravité, quoiqu'on ait imaginé plusieurs systèmes pour en rendre raison. Il n'y a aucun de ces systèmes qui soit soutenable, et contre lequel on ne puisse faire des objections auxquelles il est impossible de répondre. C'est pourquoi je ne crois pas devoir les rapporter ici, cela ne feroit qu'alonger cet article sans y répandre plus de clarté. Si le lecteur étoit curieux de les connoître, il les trouveroit dans les ouvrages suivans ; savoir, celui de *Gassendi*, dans l'*Essai de Physique* de *Musschenbroeck*, tom. I ; celui de *Descartes* dans ses *Principes* ; celui de *De Molières*, dans ses *Leçons de Physique*, et dans les *Principes du Systéme des petits Tourbillons*, par *de Launay*, chap. X ; celui de *Bulfinger*, dans une dissertation intitulée, *de Causâ Gravitatis* ; celui d'*Huyghens*, à la tête du premier volume de ses Œuvres, sous le titre *de Causâ Gravitatis* ; celui de *Varignon*, dans ses *Conjectures de Pesanteur*, 1691 ; celui de *Perrault*, dans le premier volume de ses *Œuvres de Physique* ; celui de *Villemot*, dans sa *Nouvelle explication du Mouvement des Planètes* ; celui de *Bernoulli*, dans sa *Nouvelle Physique céleste*, tom. III de ses Œuvres ; et celui de *Newton*, dans ses *Principes mathématiques de la Philosophie naturelle*, et dans son *Traité d'Optique*.

195. On pourroit dire que la gravité est la même chose que la pesanteur : cependant il y a cette différence, que *pesanteur* ne se dit jamais que de la force particulière qui fait que les corps sublunaires tendent vers la terre, et que *gravité* se dit de la force par laquelle un corps quelconque tend vers un autre. Car le principe général du système *newtonien* est que la gravité est une propriété universelle de la matière : de sorte que, par cette propriété, non-seulement un corps tend vers un autre, mais les parties d'un même corps tendent toutes les unes vers les autres ; ce qui peut se prouver par un grand nombre de phénomènes. Nous ne rappellerons ici que les plus simples et les plus communs : par exemple, la figure sphérique que prennent les gouttes d'eau, provient en grande partie d'une pareille force ; c'est par la même raison que deux globules de mercure s'unissent et s'incorporent en un seul, dès qu'ils viennent à se toucher ou qu'ils sont fort près l'un de l'autre. A l'égard de la loi précise de cette attraction, on ne l'a point encore déterminée : tout ce que l'on sait certainement, c'est qu'en s'éloignant du point de contact, elle décroît plus que dans la raison du quarré de la distance, et que, par conséquent, elle suit une autre loi que la gravité. En effet, si, de même que la gravité, cette force suivoit la loi de la raison inverse du quarré de la distance, elle ne seroit guère plus grande au point de contact que fort proche de ce point ; car *Newton* a démontré dans ses *Principes mathématiques*, que si l'attraction d'un corps est en raison inverse du quarré de la distance, cette attraction est finie au point de contact, et qu'ainsi elle n'est guère plus grande au point de contact qu'à une petite distance de ce point. Au con-

traire, lorsque l'attraction décroît plus qu'en raison du quarré de la distance, par exemple, en raison du cube, ou d'une autre puissance plus grande que le quarré; alors, selon les démonstrations de *Newton*, l'attraction est infinie au point de contact, et finie à une très-petite distance de ce point. Or il est certain, par toutes les expériences, que l'attraction, qui est très-grande au point de contact, devient presque insensible à une très-petite distance de ce point. D'où il suit que l'attraction dont il s'agit décroît en raison d'une puissance plus grande que le quarré de la distance. Mais l'expérience ne nous a point encore appris si la diminution de cette force suit la raison du cube, ou d'une autre puissance plus élevée.

196. Tout le monde convient que tout mouvement est naturellement rectiligne; de sorte que les corps qui, dans leur mouvement, décrivent des lignes courbes, y doivent être forcés par quelque puissance qui agit sur eux continuellement. D'où il suit que les planètes faisant leur révolutions dans des orbites curvilignes, il y a quelque puissance dont l'action continuelle et constante les empêche de se déplacer de leur orbite, et de décrire des lignes droites en tendant à les rapprocher du centre de leur révolution (177): c'est cette puissance, quelle qu'en soit la cause, à laquelle on a donné le nom de *gravité*. En effet, les planètes ne pourroient pas continuer de décrire leur orbite, s'il n'y avoit pas quelque force qui les retînt ou qui les poussât vers le centre de leur révolution (174): cette force appellée *gravité*, existe donc réellement; et quoique nous en ignorions la cause, nous ne devons pas manquer de l'admettre.

197. Concluons de tout ceci, que les planètes sont

retenues dans leurs orbites par une puissance qui agit continuellement sur elles ; que cette puissance a sa direction vers le centre de ces orbites ; que l'efficacité de cette puissance augmente à mesure que la planète approche du centre, et qu'elle diminue à mesure qu'elle s'en éloigne ; qu'elle augmente en même proportion que diminue le quarré de la distance, et qu'elle diminue comme le quarré de la distance augmente.

CHAPITRE VII.

De la Pesanteur des Corps.

198. On appelle *pesanteur*, la force par laquelle tous les corps sublunaires se portent constamment d'un lieu plus élevé à un plus bas, tant que rien ne s'oppose à leur chûte, ou que les obstacles ne sont pas suffisans pour les arrêter : en un mot, on appelle *pesanteur*, la force par laquelle les corps tendent à descendre par une ligne perpendiculaire au point de la surface de la terre auquel ils répondent ; et s'ils ne descendent pas par cette ligne, c'est qu'il y a quelque obstacle qui s'y oppose.

199. Il paroît que cette force, qui fait descendre les corps, est une suite de la gravitation générale qu'on observe dans la Nature (194). Mais comme on ne sait pas certainement quelle est la cause physique de cette gravitation, on ignore de même quelle est la cause physique de la pesanteur. Tous les moyens qu'ont imaginés les physiciens pour en rendre raison, peuvent

peuvent se ranger en trois classes. Les uns regardent la pesanteur comme une qualité inhérente et primordiale des corps, comme une loi générale de la Nature, qui peut n'avoir d'autre cause que la seule volonté du Créateur. Il faut avouer qu'ainsi on écarte toutes les difficultés, mais il ne faut pas prétendre qu'on rende par-là physiquement raison de la pesanteur. D'autres prétendent que la pesanteur est l'effet de l'impulsion de quelque matière très-subtile et invisible. Mais quelle est cette matière? comment agit-elle? et pourquoi ne pousse-t-elle les corps que dans une direction perpendiculaire à l'horizon? Voilà ce qu'on ne peut dire qu'imparfaitement, et ce à quoi on a opposé des raisonnemens auxquels on n'a pas encore pu répondre. Si l'on est curieux de juger soi-même ces systèmes, on les trouvera dans les ouvrages que nous avons cités ci-dessus (194); et l'on verra qu'il n'y en a aucun qui présente, sur la cause physique de la pesanteur, une explication satisfaisante et bien intelligle. D'autres enfin disent que la pesanteur n'est qu'un exemple particulier de l'attraction réciproque des corps. Mais cette action des corps les uns sur les autres, agissant comme hors d'eux-mêmes, sans intermède et à de grandes distances, n'est point du tout aisée à concevoir. *Descartes* a cru pouvoir rendre raison de la chûte des corps par les forces centrales. Mais si son idée étoit vraie, les corps tendroient, non pas au centre de la terre, mais à l'axe; ce qui est contre l'expérience. *Huyghens* avoit prévu cette tendance à l'axe, avant qu'on en eût fait l'expérience. Il imagina donc plusieurs tourbillons qui avoient lieu en même temps : mais ce grand nombre de tourbillons auroit certainement composé le mouvement; ainsi son idée

ne vaut pas mieux que celle de *Descartes*. En 1728, l'Académie des Sciences proposa, pour sujet de son prix, la cause de la chûte des corps. *Bulfinger*, de l'Académie de Berlin, eut une idée moyenne entre celle de *Descartes* et celle d'*Huyghens* : il ne supposa que deux tourbillons, qui se croisoient à angles droits; et il imagina la machine propre à faire tourner un globe rempli d'eau et contenant des corps légers, à le faire tourner, dis-je, en deux sens différens tout-à-la-fois. Tous ces corps se portèrent dans l'axe de la principale rotation, et non au centre. Dès 1669, *Perrault*, de l'Académie des Siences, avoit eu la même idée que *Bulfinger*. (*Hist. de l'Acad., tome 1, pag. 101*). Nous n'avons donc jusqu'à présent, sur la cause physique de la pesanteur, aucune explication satisfaisante. Laissons donc là la cause, et attachons-nous à la connoissance des effets : cela sera plus satisfaisant et en même temps plus utile.

Il arrive souvent que la pesanteur agit seule sur les corps : alors ils tombent suivant les loix que nous allons établir. D'autres fois la pesanteur agit sur les corps conjointement avec quelque autre puissance; ce qui fait que le mouvement se compose. Nous allons traiter séparément de ces deux cas. Examinons, 1°. les phénomènes où la pesanteur agit seule sur les corps; 2°. ceux où le mouvement est composé de la pesanteur et de quelque autre puissance.

Phénomènes où la Pesanteur agit seule sur les Corps.

200. Il ne faut pas confondre ces deux termes, *pesanteur* et *poids*; ils expriment deux choses très-

différentes. La pesanteur d'un corps est la force qui le sollicite à descendre, et son poids est la somme des parties pesantes qui sont contenues sous son volume. La pesanteur appartient également à toutes les parties d'un même corps : cette force n'augmente ni ne diminue par leur réunion ou leur séparation; mais le poids d'un corps change, comme la quantité de matière qui le compose. On peut donc dire que, quoiqu'un petit corps ait moins de poids que n'en a un grand, il a cependant autant de pesanteur; car l'un et l'autre tendent de haut en bas avec la même vîtesse.

201. Il faut considérer dans la pesanteur, ce que l'on considère dans toutes les autres puissances; savoir, 1°. sa direction; 2°. son intensité, c'est-à-dire, la mesure ou la quantité de son action sur les corps.

202. Sa direction est toujours perpendiculaire à l'horizon. On exprime encore cette direction par une tendance au centre de la terre; ce qui seroit précisément la même chose si la terre étoit sphérique; car alors chaque ligne perpendiculaire à sa surface seroit le prolongement d'un rayon. Mais la terre étant un sphéroïde applati par les pôles, les lignes perpendilaires à sa surface n'aboutissent pas toutes au centre, mais à différens points qui composent un espace autour du centre. Mais comme cet espace est fort petit, on peut, sans erreur sensible, regarder le centre de la terre comme celui des corps graves.

203. A l'égard de l'intensité de la pesanteur ou de la mesure de son action sur le corps, il y a plusieurs questions qu'il faut examiner et résoudre. Il faut savoir, 1°. si cette action est la même dans tous les corps; c'est-à-dire, si elle tend à faire descendre les

corps tous avec la même vîtesse; 2°. si la mesure de cette action est la même dans tous les temps; 3°. si elle est la même dans tous les lieux; 4°. si elle varie dans le même corps; 5°. dans le cas où elle varie, si elle augmente ou si elle diminue; 6°. dans l'un ou l'autre cas, comment se font ses progrès.

204. L'expérience ne nous apprend qu'à-peu-près combien un corps parcourt d'espace dans un temps donné, en vertu de sa pesanteur, parce qu'il a toujours à vaincre des obstacles inséparables de l'état naturel, comme en éprouvent les corps qui obéissent à toute autre puissance (75). La résistance des milieux, qui varie comme leurs densités (76); la figure du corps qui tombe (79, 80, 81); le rapport de sa masse à son volume ou sa densité (24); la portion de son poids qu'il perd dans l'air (321); tout cela empêche qu'on ne connoisse au juste la mesure primitive de l'action de la pesanteur sur les corps. On sait seulement qu'à Paris, par exemple, ou aux environs, un corps qui a peu de volume et beaucoup de masse, comme une balle de plomb, parcourt, dans l'air libre, environ 4873 millimètres (15 pieds de France) dans la première seconde de sa chûte. Nous verrons bientôt pourquoi on embrasse ici toutes ces circonstances.

205. 1°. La mesure de l'action de la pesanteur est-elle la même dans tous les corps? On a cru pendant long-temps que la pesanteur et le poids étoient synonymes, et que les corps avoient une tendance à tomber d'autant plus grande qu'ils avoient plus de masse. Cela étoit vraisemblable: en effet, on voyoit toujours; comme on le voit aujourd'hui, qu'un corps peu dense, comme une plume, tomboit moins vîte qu'un corps

plus dense, comme une pierre. Mais un plus ou un moins ne décide pas la question, quand il n'est pas proportionnel à la cause que l'on soupçonne. *Galilée* est le premier qui ait mesuré ce *moins* : et ayant trouvé qu'il ne répondoit pas à la différence des poids, il imagina que la pesanteur agissoit avec une égale force sur la plume et sur la pierre; et que la différence de leur chûte venoit uniquement de la resistance de l'air, qui se faisoit plus sentir sur celui des deux corps qui avoit le moins de masse (207). Ce raisonnement étoit très-bien fondé; et l'on en voit la justesse, si l'on fait tomber des corps dans le vide d'air : alors, de quelque nature qu'ils soient, ils tombent tous avec la même vîtesse. La mesure de l'action de la pesanteur est donc la même dans tous les corps. C'est donc la résistance de l'air qui est la cause de la différence de leur chûte dans le plein.

206. On peut ainsi évaluer cette différence, et en sentir la raison. La quantité de mouvement des corps s'estime par leur masse et leur vîtesse (63). Si nous regardons maintenant, comme en effet nous devons le faire, la pesanteur comme une force qui imprime une vîtesse commune et égale à tous les corps, les quantités de mouvement de deux corps qui commencent à tomber, ne peuvent différer entr'elles que par la masse; et elles doivent lui être proportionnelles. Supposons donc une boule de plomb pesant 24 hectogrammes, et une boule de bois de même diamètre pesant 2 hectogrammes : puisque leurs vîtesses initiales sont égales, leurs quantités de mouvement, au premier instant de leur chûte, seront comme leurs masses, c'est-à-dire, 24 dans le plomb et 2 dans le bois. Supposons maintenant que, pendant leurs chûtes la

résistance de l'air (qui est égale pour les deux corps, puisqu'ils ont le même volume et la même figure) leur ôte à chacun un degré de mouvement; le plomb n'aura perdu que $\frac{1}{14}$ de ce qu'il avoit, et le bois en aura perdu la moitié. Le ralentissement sera donc beaucoup plus considérable dans le bois que dans le plomb, quoique ces deux effets procèdent de la même cause. Voilà pourquoi les corps tombent, dans le plein, d'autant moins vîte qu'ils ont moins de masse, tandis que dans le vide ils tomberoient tous avec une vîtesse égale.

207. On a fait en grand des expérience sur la chûte directe des corps, tant en Italie qu'en France, en Angleterre, en Allemagne, qui prouvent ce que nous venons d'avancer. Mais *Désaguillers* a fait ces expériences avec plus d'avantage que persoune, à la tour de Saint-Paul de Londres, élevée de 272 pieds anglais, qui équivalent à 255 pieds françois (82 mètres 834 millimètres). Il fit tomber de cette hauteur deux boules de $5\frac{1}{2}$ pouces (148,885) de diamètre, dont l'une pesoit 2610 grains (138 grammes 630 milligrammes); et l'autre seulement $137\frac{1}{2}$ grains (7303 milligrammes). Leurs masses étoient donc, à très-peu de chose près, dans le rapport de 19 à 1. La plus pesante acheva sa chûte en $6\frac{1}{2}$ secondes; la chûte de l'autre dura près de 19 secondes. Donc, 1°. la vîtesse de la chûte n'est pas proportionnelle à la masse; car la plus légère ayant employé 19 secondes à tomber, la plus pesante auroit dû tomber en 1 seconde; et elle en a mis $6\frac{1}{2}$. Donc, 2°. les corps tombent, dans le plein, d'autant moins vîte qu'ils ont moins de masse; car la boule qui a employé, dans le plein, $6\frac{1}{2}$ secondes

à parcourir 255 pieds françois (82 mètres 854 millimètres), auroit, selon les loix de l'accélération que nous établirons ci-après (216), parcouru, dans le vide pendant ce temps-là, 633 $\frac{1}{4}$ pieds (205 mètres 867 millimètres): voilà donc 378 $\frac{1}{4}$ pieds (123 mètres 53 millimètres) de retranchés par la résistance de l'air; et la boule qui a employé, dans le plein, 19 secondes à parcourir 255 pieds (82 mètres 854 millimètres), auroit parcouru, dans le vide, pendant le même temps 5415 pieds (1759 mètres 005 millimètres): voilà donc 5160 pieds (1676 mètres 171 millimètres) de retranchés par la même résistance de l'air. Donc cette résistance de l'air produit sur les corps qui tombent, d'autant plus de retardement dans leur chûte qu'ils ont moins de masse (205). *Newton* a confirmé ce principe par les vibrations de boules suspendues à des fils, et dont il a mis des diamètres et les poids en différens rapports. Nous ferons voir (258) que ces vibrations sont un effet de la pesanteur. Si donc deux boules de même diamètre, de même poids, et suspendues par des fils d'égales longueurs, font, dans le même air, des vibrations semblables en amplitude et en durée, on voit qu'elles sont animés par des pesanteurs égales; et l'on ne doit pas changer de sentiment, si la différence que la diminution ou l'augmentation du poids y apporte, ne suit pas le rapport des masses.

208. Par ce principe, on explique aisément pourquoi la même matière tombe plus lentement à mesure qu'elle se divise: par exemple, une bûche réduite en copeaux, tombe beaucoup plus lentement que lorsqu'elle est entière. Par sa division elle acquiert plus de surface; elle en présente davantage au milieu

résistant, qui, pour cette raison, lui cause plus de retardement dans sa chûte. Sans cette résistance de l'air qui retarde et divise les corps dont les parties ont entr'elles peu d'adhérence, la chûte d'une potée d'eau seroit aussi à craindre que celle d'un glaçon ou d'une pierre de même poids. C'est par cette raison que la grêle tombe plus vîte que la pluie, et cause plus de ravages dans nos campagnes; et sans cette résistance de l'air, qui retarde la chûte des corps, la plus petite grêle seroit, par la vîtesse extrême de sa chûte, capable de tuer les hommes et les animaux.

209. 2°. La mesure de l'action de la pesanteur est la même dans tous les temps, car les corps tombent aujourd'hui comme ils tomboient il y a plusieurs milliers d'années; il n'y a donc point de variation à cet égard.

210. 3°. La mesure de l'action de la pesanteur est-elle la même dans tous les lieux? En regardant comme centre des graves celui de la terre, on a soupçonné qu'à différentes distances de ce centre, l'intensité ou la mesure de l'action de la pesanteur n'est pas la même; qu'elle agit avec d'autant moins de force sur les corps, qu'ils sont plus éloignés du centre de la terre. Et voulant connoître, par l'expérience, si ce soupçon étoit bien ou mal fondé, on a éprouvé la chûte des corps aux plus grandes hauteurs et aux plus grandes profondeurs auxquelles on a pu parvenir; mais n'ayant trouvé dans ces chûtes aucune différence sensible, on a cru l'intensité de la pesanteur uniforme à toutes ces distances, jusqu'à ce qu'on ait eu des raisons de croire le contraire. C'est *Newton* qui nous a fourni ces raisons. Non-seulement il assure que la pesanteur agit d'autant moins sur les corps, qu'ils

sont plus éloigné du centre de la terre; mais il donne de plus des règles pour évaluer cette diminution. Il nous dit, et de manière à se faire croire, que, si la lune étoit abandonnée à sa force centripète, elle descendroit vers la terre en parcourant environ 15 pieds 1 pouce (4900 millimètres) dans la première minute de sa chûte. Or, c'est là l'espace que les corps placés vers la surface de la terre parcourent, en vertu de leur pesanteur, dans la première seconde de leur chûte (204): et s'ils tomboient librement pendant 1 minute, et faisant abstraction de la résistance de l'air, ils parcourroient, à cause de l'accélération de leur chûte, dont nous parlerons bientôt (216), 3600 fois cet espace. Un corps qui tomberoit de la lune vers la terre, tomberoit donc 3600 fois plus lentement. Mais la lune est éloignée environ 60 fois autant du centre de la terre, que les corps, qui sont à sa surface, le sont de ce même centre (1871): et 3600 est le quarré de 60. D'où l'on doit conclure, avec *Newton*, que l'action de la pesanteur sur les corps décroît comme le quarré de la distance augmente. C'est dans les ouvrages même de *Newton* qu'il faut chercher les preuves de ce qu'il avance; preuves fondées sur des connoissances certaines. (Voyez ses *Principes mathématiques de la Phylosophie naturelle, tom. II, Prop. IV, pag. 13, édit. de Paris, 1759.*) Voici à-peu-près comment on peut juger de la quantité de l'action de la pesanteur sur les corps à la hauteur de la lune, par la quantité de la même action sur les corps qui sont vers la surface de la terre, en supposant, comme l'a fait *Newton*, (ce qui est plus que probable) que la force centripète de la lune est la même que celle des corps terrestres. Supposons

que T (*fig.* 21) représente la terre; L, la lune; L A B C l'orbite de cette planète. Il est certain que la lune ne circule autour de la terre, qu'en conséquence de deux puissances qui agissent en même temps sur elle (174); l'une sa force centripète, qui la pousse ou la tire vers la terre dans la direction du rayon L T de son orbite; et l'autre sa force centrifuge, résultante de son mouvement de circulation (177), qui la pousse dans la tangente L F. Il est certain, de plus, comme nous l'avons dit ci-dessus (166), que si un corps obéit en même temps à deux puissances, comme L D, L E, on connoît le rapport de ces puissances par la diagonale L C que ce corps décrit. Supposons donc que L C soit l'arc de son orbite que la lune parcourt dans une minute; il est clair que le sinus vers L D de cet arc représente la quantité dont la lune descendroit vers la terre T, si elle n'obéissoit qu'à sa force centripète. Mais, vu la distance de la lune à la terre, et sa vîtesse moyenne, L D se trouve être, suivant *Newton*, de 15 pieds 1 pouce 1 $\frac{4}{7}$ ligne (4903 millimètres). C'est donc là à-peu-près l'espace que la lune parcourroit pendant une minute en vertu de sa pesanteur; car la lune doit, en vertu de sa force centripète, s'approcher de la terre d'une quantité égale au quarré de l'arc qu'elle décrit, divisé par le diamètre de son orbite. Or l'arc que décrit la lune, par un mouvement moyen, pendant une minute,

	t.	mt.
est de	50825, ou ...	60079,044
dont le quarré est ..	950180625, ou	5609491127,954
qui, divisé par le diamètre de l'orbite, qui est	385895490, ou	752124522

donne pour quotient . . . . . t. 2,46 ou . . . . mt. 4,799

qui valent pi. 14 po. 9 lig. de France 3,168, ou 4,799

L'intensité de la force de la pesanteur sur les corps est donc différente à différentes distances du centre de la terre, et décroît comme le quarré de la distance augmente.

211. Nous n'avons point d'assez grandes hauteurs pour constater par expérience cette théorie de la chûte directe des corps; mais *Bouguer* et *la Condamine* y ont suppléé par l'expérience suivante. Ils ont fait osciller un pendule pendant la révolution d'une étoile fixe (nous ferons voir ci-après (258) que ces oscillations sont un effet de la pesanteur), 1°. au bas, 2°. au haut d'une des montagnes des Cordilières, et ont mesuré la différence des hauteurs perpendiculaires de ces deux stations. Le nombre des vibrations a été moindre pendant le même temps dans le haut que dans le bas; et ce *moins* s'est assez bien accordé avec la théorie de *Newton*.

212. L'intensité de la pesanteur doit encore être différente dans les différens climats de la terre. Car la terre tournant sur son axe, chaque point de sa surface, ainsi que les corps qui y sont placés, prennent une force centrifuge (174), qui diminue les effets de la pesanteur, puisqu'elle y est opposée (176). Mais cette force centrifuge ne diminue pas les effets de la pesanteur également par-tout; car elle est d'autant plus grande dans chacun des corps qui circulent, qu'ils décrivent de plus grands cercles dans le même temps (181), puisqu'alors ils ont plus de vîtesse. Or ceux qui sont sous l'équateur, ou près de là, décrivent de plus grands cercles que ceux qui sont vers

les poles : les effets de la pesanteur sur eux sont donc plus diminués, d'autant plus que la force centrifuge est directement opposée à la pesanteur sous l'équateur, et obliquement par-tout ailleurs ; et d'autant plus obliquement, qu'elle s'approche plus des poles : car supposons A B (*fig.* 22) l'axe sur lequel tourne la terre ; D E ou G P, le diamètre de son équateur. 1°. Le corps qui tourne en G décrit en vingt-quatre heures un plus grand cercle que celui qui tourne en F, dont le cercle qu'il décrit a pour diamètre F N, plus petit que D E. 2°. La force centrifuge en G a sa direction par G O, prolongement du rayon C G (176), et la force centripète a sa direction par G C : donc ces deux forces sont là directement opposées. Mais en F la force centrifuge a sa direction par F L, prolongement du rayon M F, tiré du centre M de la tranche dans laquelle le corps circule ; et la force centripète a sa direction par F C : donc ces deux forces ne sont là qu'obliquement opposées. Les corps tombent donc plus lentement vers l'équateur que vers les poles. C'est, en effet, ce qui a été prouvé par l'expérience faite à Caïenne en 1672, par *Richer*. Il observa qu'un pendule d'une longueur convenable pour battre les secondes à Paris, mesuroit à Caïenne des temps plus longs ; et nous ferons voir (258) que le mouvement d'oscillation d'un pendule est un effet de la pesanteur. Cette expérience a été répétée depuis par plusieurs bons observateurs, entr'autres par les académiciens qui sont allés au Pérou, et par ceux qui ont fait le voyage du Nord pour les mesures relatives à la figure de la terre ; et elle a toujours prouvé que les corps tombent plus lentement vers l'équateur que

vers les poles, et que ce retardement diminue à proportion que la latitude du lieu augmente.

213. C'est cette même expérience qui a prouvé démonstrativement la rotation de la terre sur son axe, et qui a fait douter de sa sphéricité. Car, puisque la terre tourne, ses différentes parties acquièrent des forces centrifuges (174), qui ne sont pas égales dans toute son étendue (212), puisque les parties qui sont sous l'équateur décrivent un grand cercle en vingt-quatre heures; celles qui sont vers les cercles polaires décrivent en pareil temps un cercle dont le diamètre est beaucoup moindre, et celles qui sont sous les poles, ne tournent point. *Huyghens* et *Newton* ne furent pas plutôt informés de cette expérience, que, fondés sur les loix de la statique et des forces centrales, ils soupçonnèrent que la terre n'étoit pas sphérique, mais qu'elle étoit un sphéroïde applati par les poles. Car, dirent-ils, pour que les rayons de la terre C G, C P (*fig.* 22) qui répondent à l'équateur, soient en équilibre avec ceux C A, C B, qui répondent aux poles, il faut que les premiers soient plus longs que les autres d'une quantité proportionnelle à la diminution de leur gravité, par la force centrifuge. Ils ont même poussé leur calcul jusqu'à déterminer cette quantité. Suivant *Huyghens*, le diamètre de l'équateur est à l'axe de la terre comme 578 est à 577, et, suivant *Newton*, comme 230 est à 229; ce qui n'est pas très-éloigné l'un de l'autre. La théorie de ces deux grands hommes a été confirmées depuis par les travaux des académiciens, dont nous venons de parler (212), et qui ont été, les uns aux Pérou, et les autres dans le Nord, pour prendre la mesure d'un degré du méridien dans ces différens climats, afin de connoître

par-là si la terre étoit sphérique ou non. C'est dans les ouvrages de ces savans qu'il faut voir le détail de leurs opérations, dont je ne donne ici que les résultats.

Le rayon de l'équateur de la terre est de 6394813$^{mt.}$,471 (3281013 toises); la moitié de son axe est de 6365070$^{mt.}$,202 (3265752 $\frac{1}{2}$ toises); la différence, 29743$^{mt.}$,269 (15260 $\frac{1}{2}$ toises) donne l'applatissement de la terre vers les poles. Cette différence sur l'axe entier est égale à 13 lieues communes de France, de 25 au degré, plus 1709$^{mt.}$,305 (877 toises): d'où il suit que le diamètre de l'équateur est plus grand que l'axe de la terre de 13 lieues et environ $\frac{1}{7}$, ce qui donne le rapport du diamètre de l'équateur à l'axe, comme 215 à 214, rapport dont celui de *Newton* approche beaucoup. (Voyez *la Grandeur et la Figure de la Terre*, ouvrage qui fait suite aux *Mémoires de l'Académie des Sciences*, pour l'année 1718). On peut voir aussi les ouvrages sur le même objet, des académiciens qui ont été pour cela au Pérou et dans le Nord.

214. 4°. La mesure de l'action de la pesanteur varie-t-elle dans le même corps? Si l'on mesure, comme en effet on doit le faire, cette quantité d'action par la vîtesse avec laquelle un corps descend, elle peut varier dans le même corps, suivant qu'il est chaud ou froid, suivant la figure de ce corps, suivant le rapport de sa masse à son volume, etc. Toutes ces causes de variation sont accidentelles; elles naissent de la résistance du milieu (78), que le corps est obligé de traverser. Mais une autre variation qui dépend uniquement de la pesanteur, est celle qui

arrive au corps pendant qu'il tombe. Il semble que cette force soit dans le mobile même, elle agit sur lui pendant toute la durée de sa chûte, autant qu'elle a agi au commencement; de sorte qu'elle lui donne à chaque instant une nouvelle impulsion, d'où naît un nouveau degré de vîtesse. Un corps qui a cédé à sa pesanteur pendant une seconde, a donc une vîtesse actuelle plus grande que celle qu'il auroit eue, s'il n'étoit tombé que pendant une demi-seconde. Car on sait qu'un corps qui tombe librement, produit un choc d'autant plus grand, qu'il tombe de plus haut; dans ce cas-là, l'intensité de ce choc ne peut augmenter que par la vîtesse : car nous supposons la même masse, puisque c'est le même corps. La vîtesse de ce corps s'accroît donc à chaque instant.

215. 5°. L'intensité de la pesanteur va donc toujours en augmentant dans le même corps pendant qu'il tombe. Mais suivant quelle loi s'accroît sa vîtesse? L'expérience prouve que cet accroissement de vîtesse est proportionnel à la hauteur de la chûte, et non pas à sa durée. Que l'on fasse tomber différens corps de mêmes figures, de hauteurs qui soient entr'elles en raison inverse des masses de ces corps, ils produiront tous le même effort : donc ils ont tous des quantités égales de mouvement (63); ce qui ne pourroit pas être, si les vîtesses acquises à la fin de chaque chûte n'étoient pas proportionnelles à la hauteur de ces chûtes. Donc, etc. Une grande masse venant de moins haut peut donc produire le même effort qu'une petite masse venant de plus haut. On peut donc choisir entre ces deux moyens, ou d'augmenter la masse, ou d'augmenter la vîtesse. Or il est souvent avantageux de substituer du poids à l'élévation; c'est ce que l'on

fait pour enfoncer les pilotis, pour forger les ancres, pour battre le fer dans les grandes forges, etc.

216. 6°. Puisque la vîtesse d'un corps qui tombe s'accroît à tous les instans, quelle est donc à chaque instant la progression de cet accroissement de vîtesse? C'est encore à l'expérience à nous instruire; voici ce qu'elle nous apprend. Si l'on fait tomber librement un corps qui ait beaucoup de masse et peu de volume, afin d'avoir le moins de déchet possible par la résistance de l'air, on verra qu'il parcourt un espace dans la première seconde de sa chûte, trois espaces dans la seconde suivante, cinq espaces dans la troisième seconde; et ainsi de suite, en augmentant toujours de deux espaces égaux chacun à l'espace parcouru dans la première seconde. D'où il suit que la vîtesse d'un corps qui tombe s'accroît à chaque instant dans la progression arithmétique des nombres impairs, 1, 3, 5, 7, 9, etc. Il suit encore de là que la somme des espaces parcourus à la fin de chaque temps, est comme le quarré des temps. Car à la fin du premier temps, il n'y a qu'un espace parcouru; le quarré de 1 est 1: à la fin du second temps, il y a 4 espaces parcourus, 1 dans le premier temps, 3 dans le second; le quarré de 2 est 4: à la fin du troisième temps, il y a 9 espaces parcourus; le quarré de 3 est 9: à la fin du quatrième temps, 16 espaces; le quarré de 4 est 16, etc. La vraie raison de cette accélération, et suivant cette loi, est qu'un corps qui est tombé, pendant un temps donné, d'une quantité déterminée, a, à la fin de cette chûte, une vîtesse acquise, capable de le faire descendre en vertu seulement de cette vîtesse acquise, et indépendamment de l'action de la pesanteur, d'une quantité double de l'espace qu'il a parcouru dans le

premier

premier temps. Supposons un corps qui est tombé de 4073 millimètres (15 pieds) pendant une seconde : ce corps a à la fin de cette chûte une vîtesse acquise, capable de le faire tomber de 9745 millimètres (30 pieds) pendant la seconde suivante; et comme la pesanteur est une force qui réside dans le corps même, qui agit continuellement sur lui, et aussi fortement à tous les instans de sa chûte qu'au commencement (214), il faut, pour l'action de la pesanteur, pendant la deuxième seconde, ajouter aux 9745 millimètres (30 pieds) un espace de 4873 millimètres (15 pieds) égal à l'espace parcouru en vertu de la pesanteur pendant la première seconde. Voilà donc de parcourus, pendant la deuxième seconde, trois espaces, dont chacun est égal à l'espace parcouru pendant la première seconde. On fera le même raisonnement pour les secondes suivantes.

217. Ceci n'est point une supposition gratuite : le docteur *Athoowd* a imaginé un moyen simple de prouver par expérience que, lorsqu'un corps est tombé, pendant un temps donné, d'une quantité déterminée, si l'on fait en sorte que la pesanteur cesse d'agir sur ce corps, il continue de tomber avec une vîtesse uniforme, et sans aucune accélération, en parcourant dans chaque temps suivant, égal au premier, un espace double de celui qui a été parcouru dans le premier temps. Voici en quoi consiste l'essentiel de son instrument. Une poulie A (*fig.* 23) de 19 c. mt. (7 pouces) de diamètre, très-mobile et suspendue d'une manière quelconque : deux corps cylindriques de métal B, C, parfaitement égaux entr'eux en diamètre et en poids; un cordon fort délié D E F; un petit poids G, de 15 gm. (environ 4 gros), rond et propre à être

placé sur le corps B ; un autre petit poids H, long, et dont le poids soit parfaitement égal à celui du poids G; une tringle graduée K L : un cercle de métal I, qui puisse se fixer à la tringle graduée, et qui soit assez large pour laisser passer librement le corps B. Sur la poulie A, faites passer le cordon D E F, aux extrémités duquel vous attacherez les corps B, C. Ces deux corps étant égaux en poids, seront en équilibre entr'eux : pour rompre cet équilibre, et faire descendre le corps B, chargez-le du poids G, et placez sa partie inférieure à la hauteur de 0. Ayant un pendule qui mesure des temps égaux appropriés à la chûte de ce corps, à la fin du premier temps, la partie inférieure du corps B sera en 1 ; à la fin du second temps, elle sera en 4; à la fin du troisième temps, elle sera en 9, etc. suivant la progression des nombres impairs établie ci-dessus (216). Maintenant, pour faire cesser l'action de la pesanteur sur ce corps B, reportez-le dans le haut, et faites de nouveau répondre sa partie inférieure à 0 ; puis chargez-le du poids H au lieu du poids G, et le laissez tomber. A la fin du premier temps, lorsque la partie inférieure du corps B répondra à 1, le poids H, qui est plus long que le diamètre du cercle I, restera sur ce cercle; ce qui ôtera au corps B son excès de poids sur celui du corps C, et fera cesser sur lui l'action de la pesanteur. Alors ce corps B continuera de se mouvoir avec une vîtesse uniforme, parcourant dans chaque temps suivant un espace double de celui qu'il aura parcouru dans le premier temps; de sorte qu'à la fin du premier temps, sa partie inférieure répondant à 1, à la fin du second temps, elle répondra à 3 ; à la fin du troisième temps, elle répondra à 5; à la fin du qua-

trième, elle répondra à 7; à la fin du cinquième, elle répondra à 9, etc. au lieu que, si la pesanteur eût continué d'agir sur le corps B, il eût répondu à 9 à la fin du troisième temps (216).

218. Pour bien entendre ceci, représentons par des lignes les temps et les vîtesses acquises. Supposons la ligne A D (*fig.* 24) représentant trois temps égaux, A B, B C, C D. Ces temps, quelque courts qu'ils soient, peuvent être divisés en autant d'instans qu'on voudra, divisons-les chacun en 6 instans, A *a*, *a c*, *c e*, *e g*, *g i*, *i* B, etc. La pesanteur agissant à tous les instans sur le corps qui tombe (214), lui fera acquérir à chaque instant une nouvelle vîtesse. Représentons la vîtesse acquise à la fin du premier instant par la ligne *a b*, la vîtesse acquise à la fin du second instant sera représentée par la ligne *c d*, double de la ligne *a b*, puisqu'elle est le produit d'une impulsion deux fois répétée. Par la même raison, la vîtesse acquise à la fin du troisième instant sera représentée par la ligne *e f*, etc. et en conséquence la vîtesse acquise à la fin du sixième instant, par la ligne B E, six fois aussi longue que *a b*, comme résultante de six impulsions successives; et le triangle A B E représentera l'espace parcouru pendant le premier temps A B. Supposons maintenant que la pesanteur cesse d'agir, le corps continuera de se mouvoir avec sa vîtesse acquise B E, et parcourra, pendant le second temps B C, deux espaces égaux à l'espace parcouru pendant le premier temps A B. Car pour connoître l'espace parcouru pendant ce second temps, en vertu de la vîtesse acquise, il faut multiplier cette vîtesse B E par le temps B C (56); ce qui donne le quarré B C F E, lequel contient

deux triangles, BCE, FEC, égaux au triangle ABE qui représente l'espace parcouru pendant le premier temps AB. Mais comme la pesanteur agit dans le second temps autant qu'elle a agi dans le premier, il faut ajouter pour l'action de la pesanteur, pendant ce second temps, le triangle FHE; ce qui fera trois triangles ou trois espaces égaux chacun à l'espace parcouru pendant le premier temps. On verra de même que, pendant le troisième temps CD, il y a cinq espaces parcourus; car, à la fin du second temps, la vîtesse acquise est représentée par CH : si donc l'on multiplie cette vîtesse CH par le temps CD, on aura le parallélogramme CDIH, lequel contient quatre triangles qui représentent les espaces parcourus en vertu des vîtesses acquises; ajoutez le triangle IHK pour l'action de la pesanteur pendant ce troisième temps, il complétera les cinq espaces parcourus pendant ce temps; et ainsi de suite, on trouvera sept espaces pour le quatrième temps, neuf pour le cinquième, etc.

219. Il suit de là qu'un corps tombé d'une certaine hauteur pendant plusieurs instans se trouve avoir, à la fin de sa chûte, une vîtesse acquise, capable de le faire monter pendant le même nombre d'instans aussi haut que le point d'où il est descendu, si quelque cause change sa direction; parce qu'en vertu de cette vîtesse acquise, il a une force capable de le porter à un espace double de celui qu'il a parcouru (217). Mais, s'il remonte, l'action de sa pesanteur en retranche la moitié : il ne peut donc monter qu'à une hauteur égale à celle d'où il est descendu. Cette vîtese est donc retardée, en montant, par l'action de sa pesanteur, dans la même proportion que

celle suivant laquelle elle a été accélérée en descendant; de sorte qu'en montant, il parcourroit des espaces suivant la même progression que celle suivant laquelle il les a parcourus en descendant, mais dans un ordre renversé. Si donc il est tombé pendant quatre instans, il aura parcouru un espace dans le premier instant, trois dans le second, cinq dans le troisième, et sept dans le quatrième (216). S'il remonte, il en parcourra sept dans le premier instant, cinq dans le second, trois dans le troisième, et un dans le quatrième. Mais, de même que la résistance de l'air retranche une partie de l'accélération de la pesanteur dans les corps qui descendent (207), de même elle ajoute à son retardement dans les corps qui montent. C'est pour cette raison qu'un corps élastique, qui est tombé sur un autre corps élastique, tel qu'une bille d'ivoire ou d'acier tombée sur un plan de marbre (leurs ressorts fussent-ils parfaits), ne peut jamais remonter aussi haut que le point d'où il est descendu.

De tout ce que nous venons de dire, relativement à l'action de la pesanteur, il suit :

220. 1°. Que la force qui fait tomber les corps est toujours uniforme, et qu'elle agit sur eux également à chaque instant (214).

221. 2°. Que les corps tombent vers la terre avec une vîtesse uniformément accélérée (216).

222. 3°. Que leurs vîtesses sont comme les instans de leur chûte (218).

223. 4°. Que les espaces qu'ils parcourent à chaque instant de leur chûte, suivent la progression arithmétique des nombres impairs, 1, 3, 5, 7, etc. (216).

224. 5°. Que les espaces qu'ils parcourent pendant

la durée de leur chûte, sont comme les quarrés des temps ou comme les quarrée des vîtesses; et que par conséquent les vîtesses et les temps sont en raison sous doublée des espaces (216).

225. 6°. Que l'espace qu'un corps parcourt en tombant pendant un temps quelconque, est la moitié de celui qu'il parcourroit pendant le même temps avec une vîtesse uniforme, en vertu de la vîtesse acquise, et indépendamment de la pesanteur; et que par conséquent cet espace est égal à celui que le corps parcourroit avec une vîtesse uniforme, en vertu de la moitié de cette vîtesse (217).

226. 7°. Que la force qui fait tomber les corps vers la terre, est la seule cause de leur poids; car, puisqu'elle agit à chaque instant (214), elle agit donc sur les corps, soit qu'ils soient en repos, soit qu'ils soient en mouvement; et c'est par les efforts que ces corps font sans cesse pour obéir à cette force, qu'ils pèsent sur les obstacles qui les retiennent.

227. Comme l'air résiste au mouvement des corps, et qu'il y résiste d'autant plus, qu'il est frappé avec plus de vîtesse (83), il en résulte que quand un corps, en tombant, a acquis par accélération (216) un degré de vîtesse qui fait qu'il frappe le fluide aussi vîte qu'il peut céder, et qui le met par conséquent en équilibre avec le milieu résistant, il continue de s'y mouvoir, mais avec une vîtesse uniforme, et sans aucune nouvelle accélération. Les corps qui tombent, arrivent d'autant plus tard à cette uniformité de vîtesse, que la densité du milieu est moindre, ou qu'ils ont moins de volume et plus de masse (208). Aussi la grêle arrive-t-elle plus tard à cette uniformité de vîtesse, que ne le fait la pluie, et la pluie

plus tard que la neige. Sans ces retardemens, la violence avec laquelle la pluie tomberoit, désoleroit les campagnes, et la plus petite grêle seroit à redouter, à cause de la vîtesse de sa chûte.

Phénomènes où le mouvement est composé de la pesanteur et de quelque autre puissance.

228. La pesanteur est une puissance dont nous venons de voir la direction (202) et l'intensité (202 *et suivans*). Si l'on connoît les autres forces qui agissent conjointement avec elle sur les corps, on jugera aisément des résultats, parce qu'ils seront toujours conformes aux lois du mouvement composé, que nous avons établies ci-dessus (160 *et suiv.*). Nous n'aurons donc à faire ici que des applications des principes du mouvement composé.

229. Quand un corps n'obéit pas complètement à sa pesanteur, c'est qu'il est retenu par quelque obstacle, ou sollicité par quelque force active qui agit dans une autre direction que celle de sa pesanteur. Si l'obstacle y est directement opposé et invincible, tel que seroit un plan horizontal sur lequel le corps seroit posé, ou une corde qui le tiendroit attaché à un point fixe, le corps se trouve alors entre deux puissances égales et opposées; savoir, d'une part l'action de sa pesanteur, et d'autre part la réaction du point fixe ou du plan sur lequel il repose; et le corps demeure en repos. Mais si l'obstacle peut céder à la pesanteur, c'est le cas de deux forces dont l'une obéit à l'autre suivant la valeur de son excès; et le mouvement demeure simple, mais retardé (160), comme cela arrive lorsque les corps pesans traversent, en tombant, des milieux résistans (207).

230. Si l'obstacle n'est qu'obliquement opposé à la pesanteur, tel que seroit, par exemple, un plan incliné ou un fil de suspension, ou bien une force active ou projectile qui lanceroit le corps dans une autre direction que la perpendiculaire à l'horizon, alors le mouvement se compose de cette force et de celle de la pesanteur.

Chûte des Corps par les plans inclinés.

231. Supposons d'abord un plan incliné. Un plan incliné est celui qui n'est ni vertical, comme *a c* (*fig.* 25), ni horizontal, comme *c d;* mais qui, comme la ligne *a d*, forme un triangle avec ces deux premieres lignes, la verticale et l'horizontale. Ce plan est d'autant moins incliné, qu'il s'élève davantage au-dessus du plan horizontal, ou, ce qui revient au même, que la ligne *a c* est plus longue comparativement à la ligne *c d.* Supposons que *a c* soit l'espace que le corps *a* parcourroit en deux temps en tombant librement, et par une chûte directe et perpendiculaire; il parcourroit dans le premier temps *a b*, et dans le second *b c*, trois fois aussi long que *a b*, suivant les loix de l'accélération établies ci-dessus (216). Mais si ce corps *a* est contraint de suivre le plan incliné *a d*, il se comporte précisément comme il feroit si, n'y ayant point de plan solide *a d* qui le soutint, il étoit tiré dans le premier temps par une force *a f*, dans une direction perpendiculaire au plan incliné *a d*, laquelle force continuât ensuite de faire dans tous les instans des angles égaux avec la direction de la pesanteur, et qui ne fît que varier d'intensité dans la même proportion que le fait la pesanteur elle-même. Dans le premier temps, le corps *a*, qui,

en vertu de sa pesanteur, seroit porté de *a* en *b*, et qui, en vertu de la force que nous avons supposée, iroit de *a* en *f*, suivroit la ligne *a e*, diagonale du parallélogramme *a b e f*, dont les deux puissances *a b*, *a f* représentent deux côtés (162) : ce corps seroit donc beaucoup moins descendu que s'il n'avoit suivi que l'impulsion de sa pesanteur, puisqu'il ne seroit descendu que de la quantité *a i*, au lieu de la quantité *a b*. Pour le second temps, comme les forces ont trois fois autant d'intensité que dans le premier temps, il faut donc représenter la pesanteur par *e g* trois fois aussi longue que *a b*, et l'autre force par *e h*, aussi longue que *a f*; ce qui donne pour le second temps la diagonale *e k* trois fois aussi longue que *a e*. Pour le troisième temps, les forces étant représentées par *k l* et *k m*, la diagonale sera *k n* cinq fois aussi longue que *a e*; et pour le quatrième temps, la diagonale sera *n d* sept fois aussi longue *a e*, etc.

De ces principes il suit :

232. 1°. Qu'un corps ne tombe jamais aussi vîte par un plan incliné que par la ligne verticale, qui est sa direction naturelle; car s'il descendoit par la ligne verticale *a c*, il arriveroit en deux temps à l'abaissement *c*; au lieu qu'en suivant le plan incliné *a d*, il n'arrive qu'en quatre temps en *d* (231), qui est au même degré d'abaissement que *c* :

233. 2°. Que, quoique les effets de la pesanteur soient retardés par les plans inclinés, cependant la chûte des corps, par ces plans, est accélérée suivant les mêmes lois et proportions (216), que lorsque la pesanteur agit seule et avec liberté (231); car la ligne *e k*, qui est parcourue dans le second temps, est trois fois aussi longue que la ligne *a e*, parcourue

dans le premier temps; et la ligne *k n*, parcourue dans le troisième, est cinq fois aussi longue, etc.

234. 3°. Que la durée de la chûte par le plan incliné est plus longue que celle de la chûte par la ligne verticale, de la même quantité dont ce plan *a d* excède en longueur la ligne verticale *a c*; car *a d*, longueur du plan, est double en longueur de *a c*, hauteur du même plan; et nous avons dit (231) que le corps qui n'emploieroit que deux temps à parcourir *a c*, en emploieroit quatre à parcourir *a d*. D'où il suit, en général, que la *durée de la chûte par un plan incliné quelconque est à la durée de la chûte par la verticale de ce plan, comme la longueur du plan est à sa hauteur:*

235. 4°. Que plus le plan est incliné à l'horizon, plus la chûte est retardée; car alors la longueur du plan excède davantage sa hauteur; et si ce plan devenoit horizontal, le corps, en le parcourant d'un bout à l'autre, ne tomberoit point du tout; sa chûte seroit nulle.

236. Un corps qui est contraint de suivre un plan incliné, ne tend donc pas à tomber avec toute sa pesanteur absolue, comme il le feroit s'il tomboit librement par une ligne verticale; il y est seulement sollicité par sa pesanteur respective, c'est-à-dire, par la portion de l'effort de sa pesanteur qui n'est pas vaincue par le plan incliné. Et la pesanteur respective d'un même corps varie suivant l'inclinaison du plan qu'il est obligé de suivre. D'où il suit:

237. 1°. Que, si l'on prend pour sinus total la longueur *a d* du plan, sa hauteur *a c* sera le sinus de l'angle d'inclinaison *a d c*: la pesanteur absolue du

corps *a*, qui est obligé de suivre ce plan incliné, est donc à sa pesanteur respective, comme le sinus total est au sinus de l'angle d'inclinaison :

238. 2°. Que les pesanteurs respectives du même corps, sur différens plans inclinés, sont l'une à l'autre comme les sinus des angles d'inclinaison :

239. 3°. Que plus l'angle d'inclinaison est grand, plus aussi est grande la pesanteur respective ; car alors le plan est moins incliné, et soutient moins le corps :

240. 4°. Que dans un plan vertical, où l'angle d'inclinaison est le plus grand, puisqu'il est formé par une perpendiculaire, la pesanteur respective est égale à la pesanteur absolue : et dans un plan horizontal, où il n'y a aucune inclinaison, la pesanteur respective s'anéantit totalement, car alors le plan porte le poids entier du corps.

241. L'espace parcouru sur un plan incliné par un corps pesant, dans un temps donné, est à l'espace que ce corps parcourroit pendant un temps égal, dans un plan perpendiculaire, comme la hauteur de ce plan est à sa longueur; et par conséquent comme le sinus de l'angle d'inclinaison est au sinus total (237).

242. Car la hauteur A B (*fig.* 26) d'un plan incliné est toujours moyenne proportionnelle entre la longueur A C de ce plan, et l'espace A D qu'un corps pesant parcourroit sur ce plan pendant un temps égal à celui qu'il lui faudroit pour tomber perpendiculairement de la hauteur A B de ce même plan. Si donc de l'angle droit B l'on tire une perpendiculaire B D sur A C, on aura A C : A B :: A B : A D. Donc un corps pesant, descendant sur ce plan incliné, viendroit du point A en D dans le même temps

qu'il tomberoit perpendiculairement du point A au point B.

243. C'est pourquoi, étant donné l'espace A B de la chûte perpendiculaire, pendant un temps déterminé, suivant la hauteur du plan; si l'on tire une perpendiculaire du point B, terme de cette chûte, sur A C, on a l'espace A D qui doit être parcouru dans le même temps sur le plan incliné A C.

244. Pareillement, étant donné l'espace A D parcouru sur le plan incliné A C, pendant un temps déterminé, on trouve l'espace A B qui seroit parcouru perpendiculairement dans le même temps, en abaissant du point D, une perpendiculaire à A C, qui rencontre le plan vertical en B.

245. D'où il suit que dans le cercle A D E F B G (*fig.* 27), un corps pesant descendra par l'un quelconque de ces plans inclinés, A D, ou A E, ou A F, ou A G, etc. dans un temps égal à celui qu'il lui faudroit pour tomber par le diamètre A B, en le supposant perpendiculaire au plan horizontal H I. Car ce diamètre A B est toujours moyenne proportionnelle (242) entre le plan A D, par exemple, et la longueur du plan incliné A L, dont ce plan A D fait partie; ou entre le plan A F et la longueur du plan incliné A H, dont ce plan A F fait partie, etc.

246. Pareillement, si le diamètre A B d'un cercle est perpendiculaire à la ligne horizontale H I, un corps pesant descendra d'un point quelconque, ou D, ou E, ou F, ou G, etc. de la circonférence de ce cercle, en suivant les plans inclinés, ou de D B, ou E B, ou F B, ou G B, etc. dans le même temps qu'il descendroit par le diamètre A B, posé vérticalement. Cela se déduit aisément de l'article précédent (245) :

car il n'y a aucun de ces plans qui ne puisse avoir son parallèle et égal, tiré de l'extrémité supérieure A du diamètre.

247. D'où suit cette proposition générale : *Qu'un corps emploie, pour descendre obliquement par une corde quelconque d'un cercle, autant de temps qu'il lui en faudroit pour tomber par le diamètre entier de ce même cercle, posé verticalement.* Car toutes ces lignes, A D, A E, A F, A G, D B, E B, F B, G B, sont autant de cordes de ce cercle; et nous venons de voir (245 et 246) que chacune de ces lignes est parcourue par un corps pesant dans un temps égal à celui qu'il emploieroit à parcourir le diamètre A B, posé verticalement. De plus, toute ligne tirée d'une extrémité B du diamètre à un point D de la circonférence, est perpendiculaire à la ligne tirée de l'autre extrémité A au même point D : elle marque donc le terme de la chûte par le plan incliné A D (243).

248. Il suit encore de là, que, si l'on conçoit A B comme le diamètre d'un cercle, et que l'on prenne cette ligne pour le produit de la chûte perpendiculaire dans un temps donné; la circonférence de ce cercle passera par toutes les extrémités D, E, F, G, etc. de toutes les chûtes obliques, achevées dans le même temps. Cette méthode, une fois connue, est très-simple pour connoître tout d'un coup le rapport des chûtes obliques entr'elles, ainsi qu'avec la chûte perpendiculaire; car il n'y a point de ligne qu'on ne puisse supposer être le diamètre d'un cercle.

249. Etant donné l'espace A D (*fig.* 26) parcouru, dans un semps déterminé, sur un plan incliné A C, si l'on veut déterminer l'espace qui seroit parcouru dans le même temps sur un autre point incliné : du

point D, abaissez, comme nous l'avons dit ci-dessus (244), une perpendiculaire D B qui rencontre la verticale A B au point B; la longueur A B sera l'espace que le corps parcourra pendant ce même temps, en tombant perpendiculairement. C'est pourquoi, si du point B on élève une perpendiculaire B E sur le plan A F, A E sera la partie de ce plan incliné que le corps parcourra dans le même temps qu'il tomberoit perpendiculairement du point A au point B, et par conséquent dans le même temps qu'il parcourroit la partie A D dans l'autre plan incliné A C.

250. Ainsi, puisque A B est à A D comme le sinus total A C est au sinus A B de l'angle d'inclinaison C (242), et que A B est à A E comme le sinus total A F est au sinus A B de l'angle d'inclinaison F, les espaces A D, A E, que le corps parcourt dans le même temps sur différens plans inclinés, seront réciproquement comme les longueurs A C, A F des plans d'égale hauteur; c'est-à-dire, que A D sera à A E comme A F est à A C.

251. Les vîtesses acquises dans le même temps par les chûtes d'un corps sur différens plans inclinés, sont comme les espaces parcourus dans le même temps. Elles sont aussi réciproquement comme les longueurs A C, A F des plans d'égale hauteur; c'est-à-dire, que la vîtesse acquise par la chûte d'un corps par la ligne A D, est à la vîtesse acquise par la chûte du même corps par la ligne A E, comme A F est à A C.

252. Si on donne à un corps une impulsion pour le faire monter suivant une direction quelconque, perpendiculaire ou oblique (supposons que ce soit dans un milieu non résistant, ou faisons abstraction

de la résistance du milieu), la vîtesse de ce corps sera retardée par sa pesanteur, comme elle seroit accélérée s'il descendoit (216), et les espaces que ce corps parcourra en temps égaux décroîtront dans un ordre renversé, comme les nombres impairs 7, 5, 3, 1 (219); et quand la force imprimée sera épuisée, le corps redescendra par l'effort de sa pesanteur.

253. D'où il suit qu'étant donné le temps qu'un corps emploie à monter à une hauteur donnée, il est aisé de déterminer l'espace parcouru à chaque instant par ce corps. Car, supposez que ce corps descendît de cette même hauteur dans le même temps, il seroit aisé de trouver quel est l'espace parcouru à chaque instant: en prenant ces espaces dans un ordre renversé, ils seront les mêmes que ceux que l'on cherche. Supposez, par exemple, qu'un corps jeté perpendiculairement monte à une hauteur de 240 pieds (77,961 mt.) pendant le temps de quatre secondes; et que l'on cherche quels sont les espaces qui sont parcourus dans les différens temps de cette ascension. Si le corps étoit descendu, l'espace parcouru dans la première seconde auroit été 15 pieds (4,873 mt.) (204); dans la seconde suivante, 45 pieds (14,618 mt.); dans la troisième seconde, 75 pieds (24,363 mt.); dans la quatrième, 105 pieds (34,108 mt.) (216). Par conséquent, l'espace parcouru en remontant sera, dans la première seconde, 105 pieds (34,108 mt.): dans la seconde suivante, 75 pieds (24,363 mt.); dans la troisième, 45 pieds (14,618 mt.); et dans la quatrième, 15 pieds

(4,873 mt.). Alors le corps recommenceroit à descendre comme ci-dessus.

254 D'où il suit qu'un corps qui s'élève avec une certaine vîtesse, monte à une hauteur égale à celle d'où il faut qu'il tombe pour acquérir, par l'accélération de sa chûte (216), la vîtesse initiale avec laquelle il a monté.

255. Donc, réciproquement, un corps qui tombe acquiert, par l'accélération de sa chûte, une vîtesse capable de le faire remonter à la hauteur d'où il est tombé; et comme la vîtesse des corps qui tombent obliquement ou par des plans inclinés, est accélérée suivant les mêmes loix et proportions que lorsque la pesanteur agit seule (235), il importe peu dans quelle direction se fassent et la chûte et l'ascension.

256. Ainsi, quoique la vîtesse d'un corps qui descend par un plan inciné, soit toujours moindre que celle du même corps qui tomberoit perpendiculairement (232), il est cependant vrai (et l'expérience le prouve) qu'à chaque point de sa chûte oblique, sa vîtesse acquise est égale à celle qu'il auroit s'il étoit tombé perpendiculairement d'une hauteur semblable: la seule différence qu'il y a, c'est qu'il lui faut plus de temps pour acquérir cette vîtesse par une chûte oblique que par une chûte perpendiculaire. Si un corps descend par le plan incliné *a d* (*fig.* 28), ou successivement par les trois plans différemment inclinés, *a b*, *b c*, *c d*, ou par l'arc de cercle *a b c o d*, ou par la courbe *m n o d*, il a, lorsqu'il est arrivé en *d*, une vîtesse acquise, égale à celle qu'il auroit s'il étoit tombé perpendiculairement de la hauteur *h d*; et cette vîtesse est capable de le faire remonter jusqu'en

qu'en g, hauteur égale à celle de h ou de m et a, points d'où le corps est supposé parti (255). Il est vrai qu'il lui faut plus de temps pour acquérir cette vîtesse; car il tombe plus vîte par la ligne verticale $h\,d$ que par la courbe $m\,n\,o\,d$; plus vîte par cette courbe que par l'arc de cercle $a\,b\,c\,o\,d$; plus vîte par cet arc de cercle que par les trois plans différemment inclinés $a\,b$, $b\,c$, $c\,d$; plus vîte par ces trois plans que par le plan unique $a\,d$, quoique ce plan unique soit un chemin plus court que les trois autres. En voici la raison.

257. Si le corps parcourt les trois plans inclinés $a\,b$, $b\,c$, $c\,d$, en les parcourant, il sera soutenu successivement sur des plans d'autant plus inclinés, qu'il approchera davantage du terme de sa chûte d; et il est évident, après ce que nous avons dit ci-dessus (235), que si l'effort de la pesanteur étoit uniforme, il mettroit plus de temps à parcourir le plan $c\,d$ qu'il n'en mettroit à parcourir le plan $a\,b$, parce que ce premier plan est plus incliné que l'autre. Mais, à cause de l'accélération de la chûte (233), lorsque le corps se trouve en c, après avoir parcouru les deux plans $a\,b$, $b\,c$, il a des vîtesses acquises qu'il n'auroit pas s'il commençoit à tomber du point c; et ces vîtesses sont d'autant plus grandes, que le commencement de la chûte a été plus prompt. Or ce commencement est d'autant plus prompt, que le premier plan parcouru est moins incliné, ou fait avec la verticale un angle plus aigu (235). Il est aisé de voir, par la figure, que le premier élément de l'arc de cercle $a\,b\,c\,o\,d$, fait avec la verticale $a\,p$ un angle plus aigu que celui que fait avec la même verticale le plan incliné $a\,b$; le commencement de la chûte est donc

plus prompt par l'arc que par le plan : voilà pourquoi le corps tombe plus vîte par l'arc *a b c o d* que par les trois plans *a b, b c, c d.* Par la même raison, le plan *a b* faisant avec la verticale *a p* un angle plus aigu que celui que fait avec la même verticale le plan *a d,* le corps tombe plus vîte par les trois plans *a b, b c, c d,* que par le plan unique *a d,* quoique ce dernier chemin soit plus court. C'est encore la raison pour laquelle le corps tombe plus vîte par la courbe *m n o d,* que par l'arc *a b c o d;* car le premier élément *m* de cette courbe fait avec la verticale *m r* un angle plus aigu que celui que fait le premier élément *a* de l'arc avec la verticale *a p.* Cette courbe *m n o d* est appelée *cycloïde;* elle est fameuse en mécanique par l'usage qu'en fit *Huyghens,* lorsqu'il appliqua le pendule aux horloges (266). Elle est aussi appelée la *courbe de la plus prompte descente.* Elle est formée par la révolution d'un point de la circonférence d'un cercle qui se développe sur une ligne droite.

Mouvement d'Oscillation.

258. Ceci nous conduit à parler du mouvement d'*oscillation;* car le corps qui oscille, le fait en vertu de sa pesanteur.

On appelle *oscillation* ou *vibration du pendule,* le mouvement d'un corps lourd, attaché par un fil ou par une verge à un point fixe, autour duquel il décrit un arc. Tel est le corps A (*fig.* 29) attaché au point fixe C, par le fil C E, et qui décrit l'arc B A D. La vraie cause de ce mouvement est la pesanteur du corps A; car si l'on porte ce corps de A en B, et qu'on l'abandonne à lui-même, en vertu de sa pesanteur, il tomberoit suivant la direction B H perpendi-

culaire à l'horizon (202) ; mais étant retenu par le fil C *e* à une distance toujours égale du point C, il ne peut descendre qu'en décrivant l'arc B A. Lorsqu'il est arrivé au point le plus bas en A, il a acquis, par l'accélération de sa chûte, une vîtesse égale à celle qu'il auroit acquise en tombant verticalement de la hauteur I A (256), laquelle est capable de le porter, dans un temps égal à celui de sa chûte, à une hauteur égale à celle d'où il est descendu (255) : il se porte donc en D, en décrivant l'arc A D, sa vîtesse retardant à chaque instant dans la même proportion que celle dans laquelle elle a été accélérée en descendant (253). Arrivé au point D, il ne peut pas aller plus loin, parce qu'il a consommé tout son mouvement (253). Il ne peut pas demeurer là, parce que sa pesanteur le sollicite à descendre ; et comme il est dans le même cas où il étoit au point B, il retourne de D en A et de A en B, et ainsi de suite pour les oscillations suivantes. De sorte que, si ce corps n'éprouvoit point de résistance de la part de l'air (84), et qu'il n'y eût point de frottement au point de suspension C (96), ce mouvement seroit perpétuel. Il ne cesse donc que par ces causes, qui, quoiqu'accidentelles, sont cependant inévitables dans la nature.

259. Le corps A suspendu par le fil C E au point fixe C, autour duquel il peut décrire des arcs plus ou moins grands, tels que B D, F G, etc. est ce qu'on appelle un *pendule*. Le centre de gravité du corps A, qui décrit les arcs, se nomme *centre d'oscillation*, et le point fixe C s'appelle *centre de mouvement*.

260. On distingue deux sortes de pendules, le simple et le composé. Le pendule simple seroit celui

dont le fil de suspension n'auroit aucune pesanteur, et dont le corps lourd A ne peseroit que par un seul point, appelé son centre de gravité (259), comme si, par exemple, toute sa pesanteur résidoit au centre. Le pendule composé est celui qui pèse par plusieurs points : et c'est là le cas ordinaire, puisque la verge de suspension est ordinairement de métal; et quand elle seroit de bois ou de quelque autre matière, ce seroit le même cas, car elle ne seroit pas sans pesanteur. D'où l'on doit conclure que tous nos pendules sont composés. Cependant la plupart des choses que nous avons à dire sur le pendule, doivent s'entendre du plus simple.

261. La durée de chaque vibration d'un pendule se déduit de la longueur de ce pendule, c'est-à-dire, de l'intervalle qu'il y a entre son centre de mouvement et son centre d'oscillation (259). Car nous avons prouvé ci-dessus (247) qu'un corps emploie, pour descendre obliquement par une corde quelconque d'un cercle, un temps égal à celui qu'il emploie à tomber verticalement par le diamètre entier de ce même cercle. Mais un pendule C B descend par l'arc B F A (258), et non pas par la corde B A; et sa chûte par l'arc est plus prompte que par la corde (256 et 257). S'il suivoit la corde, il emploieroit donc à faire sa demi-vibration un temps égal à celui qu'il lui faudroit pour tomber verticalement par le diamètre d'un cercle, dont sa longueur C A est le rayon : mais il y a une proportion réglée entre la chûte par l'arc et la chûte par la corde; elle est, à très-peu de chose près, comme 51 à 65, ou mieux : : 355 : 426. Il y a donc la même

proportion entre la chûte par l'arc et la chûte par le diamètre, lequel est déterminé par la longueur du pendule.

262. D'où il suit qu'un pendule dont la longueur est constante, doit faire toutes ses vibrations, grandes ou petites, isochrones ou de même durée, dans le même lieu : c'est donc l'instrument le plus propre à mesurer des temps égaux. *Galilée*, qui, le premier, a fait des recherches sur le mouvement du pendule, s'en est servi avec beaucoup de succès pour ses observations et ses expériences; ce qui lui a valu une exactitude et une précision qu'il auroit eu bien de la peine à se procurer autrement. La durée de la demi-vibration d'un pendule qui bat les secondes à Paris et aux environs, est la même que celle d'une chûte perpendiculaire de 3 pieds 9 pouces (1218 millimètres) dans les mêmes lieux (216); et par conséquent la même que celle de la chûte par une corde quelconque d'un cercle de 3 pieds 9 pouces (1218 millimètres) de diamètre (247). Cependant le diamètre du cercle dont ce pendule à secondes décrit l'arc, est de 6 pieds 1 pouce 5,28 lignes ($\overset{m.mt.}{1988}$); car un tel pendule doit avoir à Paris pour longueur 3 pieds 8,636224 lignes ($\overset{m.mt.}{994}$). Si donc ce pendule, au lieu de parcourir l'arc, parcouroit la corde, la durée de sa demi-vibration seroit de plus d'une demi-seconde; elle seroit, comme nous venons de le dire (261), plus longue que par l'arc dans la proportion de 65 à 51, ou de 426 à 335.

263. Si ce pendule étoit ou plus court ou plus long, la durée de ses vibrations seroit de même ou plus courte ou plus longue, parce qu'il répondroit à

une chûte verticale ou plus petite ou plus grande, puisque sa longueur est toujours le rayon du cercle dont le diamètre mesure la hauteur de cette chûte verticale. Les durées des vibrations de pendules de différentes longueurs sont entr'elles en raison sous-doublée de leurs longueurs, ou comme les racines quarrées de ces longueurs, à cause de l'accélération de la chûte des corps; car un corps qui tombe, parcourt dans le second instant un espace triple de celui qu'il a parcouru dans le premier (216). C'est pourquoi, pour qu'un pendule mesure des temps doubles, il faut lui donner une longueur quadruple. Un pendule dont la durée d'une vibration est à Paris d'une seconde, a pour longueur 3 pieds 8, 656224 lignes ($\overset{m.\,mt}{994.}$): pour que cette durée soit de deux secondes, il faut lui donner une longueur de 12 pieds 2 pouces 10,544896 lignes ($\overset{m.\,mt.}{3976}$). Telle est la longueur du pendule de l'horloge de l'Hotel-de-Ville de Paris. Et pour que la durée d'une vibration d'un pendule ne soit que d'une demi-seconde, il faut que sa longueur ne soit que le quart de celle du pendule qui bat les secondes; c'est-à-dire, que cette longueur ne soit que de 9 pouces 2,159056 lignes ($\overset{m.\,mt.}{248,50}$). Telle est la longueur des pendules des horloges à demi-secondes.

264. Cette longueur du pendule dont nous venons de parler, n'est pas égale à la longueur totale de l'instrument appelé *pendule* : elle est égale à la distance qu'il y a entre son centre d'oscillation et son centre de mouvement (259). Le centre de mouvement est le point de suspension, et le centre d'oscillation est un point qui, étant pris dans la ligne de suspension d'un pendule composé, soit tel que, si

toute la gravité du pendule, supposé oscillant, s'y trouvoit rassemblée, les oscillations se feroient dans un temps égal à celui qu'emploie ce pendule composé à faire les siennes. Dans un tel pendule, ce point se trouve, dans tous les cas, au-dessous du centre de gravité. Les oscillations de ce pendule sont toujours égales en durée à celle d'un pendule simple (260), qui auroit pour longueur la distance de ce centre d'oscillation au point de suspension ou centre de mouvement. Ainsi, chercher le centre d'oscillation d'un pendule composé, c'est donc toujours chercher la longueur du pendule simple qui feroit ses vibrations dans le même temps que le pendule composé. Pour trouver la longueur de ce pendule simple, on peut faire usage de ce que nous avons dit ci-dessus (261, 262, 263). Si l'on est curieux de voir ce qui a été fait de mieux relativement à la recherche du centre d'oscillation, on le trouvera dans un Mémoire de feu *Bernoulli*, de l'Académie des Sciences de Paris, et professeur à Bâle, imprimé parmi ceux de l'Académie, pour l'année 1703, pag. 78.

265. Nous avons dit ci-dessus (262) que *Galilée* s'étoit servi avec succès du pendule pour mesurer des temps égaux; mais la manière dont il en a fait usage demandoit trop de soins pour que cet instrument fût à la portée de tout le monde. Il falloit ranimer le mouvement, qui étoit à chaque instant ralenti par la résistance de l'air: de plus, il falloit compter les vibrations l'une après l'autre pour en avoir la somme. *Huyghens* a fait du pendule une application beaucoup plus utile, et dont tout le monde peut profiter, en le joignant aux horloges pour régler leur mouvement. Ces sortes de machines sont, comme

l'on sait, animées par un ressort ou par un poids qui met en mouvement plusieurs roues, par le moyen desquelles les aiguilles parcourent les graduations du cadran. Pour empêcher ce mouvement de se précipiter, il est retenu par un modérateur : tel est encore le balancier dans les montres de poche. C'est donc à ce modérateur imparfait que *Huyghens* a substitué le pendule, en l'adaptant à la pièce d'échappement, qui est celle qui règle le mouvement de toutes les roues, afin que ses vibrations, dont la durée est toujours égale (162), tant que sa longueur demeure la même, pussent rectifier les petites irrégularités de la machine.

266. On remarqua ensuite que les oscillations d'un pendule, qui se font par des arcs plus ou moins grands, quoique d'un même cercle, ne sont pas d'une durée parfaitement égale : celles qui se font dans de grands arcs, y emploient des temps plus longs ; les différences, à la vérité, sont insensibles, quand on ne les considère que pendant un temps court et pour un petit nombre de vibrations : mais elles deviennent très-sensibles quand elles sont accumulées pendant un temps plus considérable, ou que les arcs diffèrent sensiblement en amplitude. C'est ce qui engagea *Huyghens* à chercher une courbe d'oscillation dans laquelle il fût absolument indifférent que le pendule mesurât de grands ou des petits arcs. Il trouva que la cycloïde avoit la propriété qu'il cherchoit (*a*), et il la substitua au cercle. Pour cela, il rendit flexible la partie supérieure C M (*fig.* 50) de la verge du pendule C A, et plaça de chaque côté du centre C du

(*a*) Histoire de l'Académie des Sciences, année 1700, pag. 140.

mouvement, une portion de cycloïde CE et CF, dont le cercle générateur H avoit pour diamètre la moitié de la longueur du pendule CA (257). Moyennant cela, lorsque le pendule fait ses oscillations, la partie flexible CM de sa verge est contrainte de s'envelopper alternativement sur les deux portions de cycloïde CE et CF; ce qui rapproche le corps A du centre C de mouvement, et ce qui l'oblige de se mouvoir dans l'arc de cycloïde EAF, et non pas dans l'arc de cercle BAD. Or la cycloïde est une courbe d'une nature telle, qu'un pendule qui s'y meut arrive toujours dans des temps égaux au point A le plus bas, quelle que soit la hauteur d'où il commence à tomber; de manière que toutes ses vibrations, grandes ou petites, sont parfaitement isochrones ou d'égale durée.

267. Cette invention, quoique très-ingénieuse, n'a pas été d'un long usage. La grande difficulté qu'il y a de former des arcs cycloïdaux bien exacts, et l'inconvénient de rendre flexible la partie supérieure de la verge, l'ont fait abandonner très-promptement; d'autant mieux qu'on a remarqué que le cercle et la cycloïde se confondent presque dans la partie inférieure GI : de manière qu'en ne faisant décrire par le pendule que des arcs d'une très-petite étendue, il est presque égal de lui faire faire ses oscillations dans le cercle ou dans la cycloïde. C'est, en effet, le parti que l'on a pris depuis dans l'horlogerie. Il faut cependant avouer que ces petits arcs, quelque peu étendus qu'ils soient, n'équivalent pas aux arcs de cycloïde, car, quand ils deviennent plus ou moins étendus dans un temps que dans un autre (ce qui ne manque pas d'arriver de temps en temps par une cause que

j'ignore), cela influe toujours sur le mouvement de la machine : quand ils prennent plus d'amplitude, l'horloge retarde toujours; quand ils en prennent moins, elle avance, quoique le corps qui oscille ne s'élève que d'un degré par son mouvement moyen : ainsi la cycloïde seroit préférable au cercle, sans les inconvéniens dont nous venons de parler.

268. Nous avons dit (262) que toutes les vibrations d'un pendule sont de même durée, tant que sa longueur est la même : il faut ajouter à cela que c'est à condition que ce sera dans le même lieu, ou du moins dans un lieu d'une latitude semblable, puisque les pendules tombent d'autant plus lentement, que la latitude du lieu est moindre, comme nous l'avons prouvé ci-dessus (212), d'après l'expérience faite à Caïenne en 1672, par *Richer*. Pour que plusieurs pendules, placés en différens lieux, mesurent tous des temps égaux, il faut donc qu'ils aient plus de longueur vers les poles que vers l'équateur. *Voyez*, au n°. 264, ce qui mesure cette longueur. Je sais bien qu'on peut objecter que la chaleur qui règne à Caïenne avoit alongé le pendule, ce qui lui faisoit mesurer des temps plus longs : cet effet de la chaleur y contribue sans doute; mais il n'est pas suffisant, car un pendule qui bat les secondes à Paris, seroit de $1\frac{1}{4}$ ligne $\overset{\text{m.mt.}}{(2{,}820)}$ trop long près de l'équateur; et l'expérience prouve que la chaleur de l'eau bouillante (bien supérieure à celle qui règne dans l'air à Caïenne) n'alonge que d'un tiers de ligne $\overset{\text{m.mt.}}{(0{,}752)}$ une verge de pendule. Il faut donc qu'à la chaleur se joigne une autre cause; et c'est la force centrifuge.

269. Un pendule ne peut mesurer des temps

égaux dans le même lieu, qu'autant que sa longueur demeure constamment la même (263); mais la chaleur dont nous venons de parler fait continuellement varier cette longueur. Tous les corps changent de dimensions par le chaud et le froid (1134); la même chose arrive à la verge du pendule. La chaleur la fait alonger, le froid la raccourcit. On a pensé à remédier à cet inconvénient, en opposant à elle-même la cause physique d'où il procède, c'est-à-dire, en faisant en sorte que la même chaleur qui fait alonger la verge du pendule, fasse aussi remonter d'autant le centre d'oscillation du même pendule, afin qu'il demeure toujours la même distance entre ce dernier point et le centre de mouvement ou le point de suspension, puisque c'est cette distance qui détermine la longueur du pendule (264). *Graham*, fameux horloger de Londres, est le premier à qui cette idée s'est offerte, et qui a commencé à la mettre en exécution, en substituant à la lentille du pendule un vase cylindrique presque plein de mercure, lequel mercure étant soutenu sur le fond du vase, porte sa raréfaction vers le haut, et fait ainsi remonter le centre d'oscillation, à mesure que ce même centre descend par l'alongement de la verge. Ensuite *Julien le Roi*, à Paris, et *Ellicot*, à Londres, ont fait usage, pour parvenir au même but, d'un moyen plus commode. Ils ont employé tous deux, quoique par des procédés différens, l'excès de l'alongement du cuivre sur celui de l'acier par le même degré de chaleur (1138). C'est ce que l'on fait à présent dans l'horlogerie. La manière la plus simple et la plus usitée, est celle qui suit. La verge C *b* (*fig.* 31) qui porte le corps grave O, que l'on appelle *lentille*, parce qu'on

lui en donne ordinairement la forme, laquelle verge est d'acier, est composée de deux pièces séparées C *a* et *a b*. La pièce supérieure C *a* est fixée à un châssis composé de deux traverses de cuivre jaune *d f* et *e g*, et de deux verges d'acier *d e* et *f g*. La pièce inférieure *a b* est attachée, par le moyen d'une goupille, à la petite traverse de cuivre *k h*, et glisse librement dans un trou pratiqué à la traverse inférieure *e g* : *k l* et *h i* sont deux verges de cuivre jaune, fixées à demeure sur la traverse inférieure *e g*, et dont les extrémités supérieures s'appliquent dessous la traverse *k h*. Si la chaleur vient à raréfier tout cet assemblage, la verge C *a b* du pendule s'alonge; ce qui fait éloigner la lentille O du point de suspension C; mais la même chaleur alongeant les deux verges de cuivre *k l* et *h i* plus qu'elle n'alonge les deux verges d'acier correspondantes *d e* et *f g*, l'excès de l'alongement du cuivre (qui ne peut pas se porter en bas) fait remonter la traverse *k h* vers la traverse *d f*; ce qui fait rapprocher la lentille O du point de suspension C. Si le tout est bien proportionné, la lentille remonte autant par l'excès de l'alongement du cuivre qu'elle descend par l'alongement de l'acier; et, par ce moyen, le centre d'oscillation O se trouve toujours également distant du centre de mouvement C. Pour que la proportion soit exacte comme elle doit l'être, il faut que la longueur de chaque verge de cuivre soit à la longueur du pendule, comme la raréfaction de l'acier est à celle du cuivre jaune, c'est-à-dire, qu'il faut que les longueurs de ces verges de métal soient en raison inverse de leurs raréfactions. La raréfaction de l'acier est à celle du cuivre jaune, suivant *Berthoud*, horloger, comme

74 est à 121; ce qui est, à très-peu de chose près, comme 5 est à 5.

Mouvement de Projection.

270. Tous les corps jetés ou lancés hors de la perpendiculaire à l'horizon, se meuvent d'un mouvement composé de deux forces; savoir, la force de la pesanteur, et la force qui les lance, que l'on nomme ordinairement *force projectile*. Telle est, par exemple, l'impulsion du bras qui jette une pierre, ou celle de la poudre qui chasse une bombe ou un boulet. La force projectile seroit uniforme, c'est-à-dire, qu'elle feroit parcourir au mobile des espaces égaux en temps égaux, si la résistance des milieux (76 *et suiv.*) et des frottemens (96 *et suiv.*) n'y mettoit pas d'obstacles. Quoique ces obstacles soient inévitables, nous en ferons cependant abstraction, parce qu'il est plus simple et plus facile de faire connoître ce qui seroit, si ces obstacles n'existoient pas, que de dire exactement ce qui arrive dans l'état naturel.

271. Nous avons vu quelle est la direction de la pesanteur (202), ainsi que son intensité ou la quantité de son action sur les corps (203 *et suiv.*). Si l'on connoît la direction et l'intensité de la force projectile, pour connoître l'effet du mouvement composé de ces deux forces, il suffira d'y appliquer les règles du mouvement composé en ligne courbe, que nous avons établies ci-dessus (168 *et suiv.*) : les résultats y seront conformes. Je dis, les règles du mouvement composé en ligne courbe, parce qu'ici les puissances changent de rapports entr'elles; car la force projectile est uniforme de sa nature, et la force de la pesanteur est accélératrice.

272. Si la direction de la force projectile tend de bas en haut, et qu'elle soit perpendiculaire à l'horizon, elle est directement opposée à la direction de la pesanteur (202) : le mouvement du mobile sera donc l'effet de la force projectile, moins celui de la pesanteur, et le mouvement demeurera simple; mais la vîtesse sera moindre que ne l'exige la force projectile (252). Il arrive à ce mobile ce qui arriveroit à un corps qui remonteroit en vertu des vîtesses qu'il auroit acquises par une chûte accélérée (254); c'est-à-dire, que ce mobile monte à une hauteur égale à celle d'où il faudroit qu'il tombât pour acquérir, par l'accélération de sa chûte, une vîtesse égale à celle avec laquelle il a commencé à monter.

273. Si la direction de la force projectile est horizontale, le mobile se comporte suivant la règle établie ci-dessus (168), et décrit une courbe M *a b c d e f* (*fig.* 16) qui seroit parabolique, si la force projectile étoit parfaitement uniforme, et que la force de la pesanteur fût exactement accélérée.

274. Si la direction de la force projectile tend de haut en bas, mais obliquement à l'horizon, le mobile se comporte encore suivant la règle établie (168), et il décrit une courbe de la nature de la précédente, qui n'est qu'une demi-parabole.

275. Enfin, si la direction de la force projectile tend de bas en haut et obliquement à l'horizon (et c'est le cas le plus ordinaire), le mobile décrit alors une parabole entière. Car supposons que le mobile M (*fig.* 52) soit lancé directement au point P par une force projectile; si l'on retranche de l'élévation de cette tendance, pendant une suite d'instans égaux, autant de parties qui expriment les effets de la pe-

santeur, en augmentant entr'elles comme le quarré des temps (216), c'est-à-dire, que la ligne qui exprime l'effet de la pesanteur au second temps soit quatre fois aussi longue que celle qui l'exprime au premier temps, que celle qui l'exprime au troisième temps soit neuf fois aussi longue, etc. les extrémités b, r, f, q, de toutes ces lignes $a\,b$, $d\,r$, $e\,f$, P q, qui expriment les retranchemens causés à l'effet de la force projectile par la pesanteur, donneront la courbe M $b\,r\,f\,q$, c'est-à-dire, deux demi-paraboles semblables qui se joignent au sommet r.

276. C'est là-dessus qu'est fondée toute la science de la balistique ou de l'art de mesurer le jet d'une bombe ou d'un boulet. Cet art consiste donc dans la combinaison de la force projectile et de la pesanteur du mobile. Toutes ces courbes que décrivent les mobiles en pareils cas, ont d'autant plus d'amplitude, que la force projectile est plus grande; et, toutes choses égales d'ailleurs, la plus grande amplitude M q a lieu lorsque l'angle d'élévation P M q est de 45 degrés : et les amplitudes répondantes aux angles d'élévation également distans de 45 degrés, sont égales; car l'amplitude est toujours comme le sinus du double de l'angle d'élévation. Voilà pourquoi l'amplitude qui répond à l'angle de 45 degrés, est la plus grande de toutes; car le sinus du double de 45 degrés est le sinus de 90 degrés ou le sinus total, qui est le plus grand de tous.

C'est précisément cette amplitude qu'il importe de connoître, pour pouvoir sûrement atteindre le but qu'on se propose; et c'est là le point de la difficulté, sur-tout s'il sagit du jet d'une bombe ou d'un boulet. Car, pour connoître l'amplitude de la parabole que

décrit le mobile, il faut connoître la valeur de la force projectile : mais cette force projectile vient alors de l'explosion de la poudre; et c'est une chose très-difficile que d'estimer avec quelque justesse la valeur de cette impulsion. Elle dépend principalement de la qualité de la poudre, et de la quantité, non pas que l'on y emploie, mais qui s'enflamme avant le départ de la bombe ou du boulet. Car l'expérience a fait voir qu'il y a toujours une partie de la poudre qui ne s'enflamme point; et cette partie n'est pas toujours proportionnelle à la quantité employée : cela dépend de plusieurs circonstances qu'il est difficile de rendre toujours les mêmes, comme de la longueur du canon ou du mortier, du poids de la bombe ou du boulet, de la force avec laquelle la charge a été bourrée, etc. Ainsi une des quantités les plus essentielles à connoître pour juger de l'amplitude de la parabole, est sujette à beaucoup de variations. De plus, dans tout ce que nous venons de dire, nous avons fait abstraction de la résistance des milieux et de celle des frottemens (270) : il faut cependant les compter pour quelque chose; elles influent sur le mouvement du mobile : le boulet frotte contre les parois intérieures du canon, et ensuite est obligé de fendre l'air et de le déplacer; ce qui lui fait perdre une partie de sa vîtesse. La force projectile n'est donc plus uniforme, et l'effort de la pesanteur donne une vîtesse moins accélérée qu'il n'auroit fait sans ces obstacles. C'est pourquoi, s'il est essentiel de s'instruire des principes, il n'est pas moins nécessaire de s'exercer à la pratique.

CHAPITRE

CHAPITRE VIII.

De l'Hydrodynamique.

277. L'HYDRODYNAMIQUE est une science qu a pour objet la pesanteur et l'équilibre des fluides, et le mouvement des fluides. On voit, par cette definition, que l'hydrodynamique comprend l'hydrostatique et l'hydraulique.

L'hydrostatique considère l'équilibre des fluides en repos : en détruisant cet équilibre, il en résulte un mouvement, et c'est là où commence l'hydraulique.

De l'Hydrostatique, ou de la Pesanteur et de l'Equilibre des Fluides.

278. On appelle *hydrostatique*, la science qui a pour objet la pesanteur et l'équilibre des fluides, ainsi que la manière dont se mettent en équilibre dans ces fluides les corps qui y sont plongés. *Archimèdes* est, parmi les anciens, celui qui a fait le plus de progrès dans cette science. On lui fait encore honneur aujourd'hui de la manière ingénieuse par laquelle il reconnut qu'une couronne d'or n'étoit pas au titre auquel elle devoit être, en la pesant hydrostatiquement. Parmi les modernes, c'est à *Galilée*, *Toricelli*, *Descartes*, *Pascal*, *Guglielmini*, et *Mariotte*, que nous sommes redevables des plus belles connoissances dans cette matière ; et leurs expériences, aussi convaincantes que curieuses, nous ont mis en état de

savoir ce que nous devons attendre ou craindre de la force des eaux qui agissent par leur poids ; et comment nous pouvons l'employer utilement pour nous, par le moyen des machines hydrauliques.

279. Nous avons dit ci-devant (226) que la force qui fait tomber les corps vers la terre, est la seule cause de leurs poids ; et que c'est par les efforts que ces corps font sans cesse pour obéir à cette force, qu'ils pèsent sur les obstacles qui les retiennent. Les fluides qui, comme les corps solides, sont commandés par la pesanteur, font précisement la même chose ; ils pèsent sur tous les obstacles qui s'opposent à leur chûte. Mais à cause de leur fluidité, ils pèsent différemment des corps solides ; et il en résulte des phénomènes tout-à-fait particuliers, et qu'il nous est important de connoître.

280. Les fluides sont des substances dont les parties sont mobiles entr'elles, n'ont point ou presque point de cohésion les unes aux autres, et se meuvent indépendamment les unes des autres. Dans cette définition sont compris les fluides grossiers, tels, par exemple, qu'un tas de bled, un tas de sablon, etc. et les fluides déliés, tels que l'air et les autres fluides aériformes. On peut aussi y comprendre les liqueurs ; car toutes les liqueurs sont des fluides, mais tous les fluides ne sont pas nécessairement liqueurs. Pour qu'un fluide soit liqueur, il faut que ses molécules soient extrêmement petites, et puissent se mouvoir indépendamment les unes des autres avec assez de liberté, pour que celles de la surface supérieure se placent toutes dans un plan parallèle à l'horizon ; tel est du vin, de l'eau, etc. Il n'en est pas ainsi des fluides grossiers : l'ensemble forme un cône plus ou moins

écrasé, suivant qu'il s'éloigne plus ou moins de la parfaite fluidité. Mais les fluides déliés, dont la fluidité égale celle des liqueurs, se comportent comme elles dans leurs pesanteurs et leur équilibre : ils suivent les mêmes loix. Il ne sera donc ici question que de ces fluides déliés et des liqueurs.

281. Tout ce qui est liquide ne l'est pas également; c'est pourquoi ce qu'exigent les loix de l'hydrostatique, que nous allons établir, s'exécute d'autant moins exactement, que ces substances s'éloignent davantage de la parfaite liquidité. L'eau et l'huile se répandent si les vases qui les contiennent se renversent ou se cassent; mais l'effusion de l'huile est plus lente que celle de l'eau, parce que les particules de l'huile ont entr'elles plus de cohésion, que n'en ont celles de l'eau. C'est principalement de l'extrême petitesse des molécules des liqueurs et des fluides déliés, et de leur très-grande mobilité, que dépendent les effets les plus singuliers de l'hydrostatique.

282. Pour faciliter l'intelligence de cette matière, nous la diviserons en trois parties. Dans la première, nous examinerons de quelle manière s'exerce la pesanteur d'un fluide seul, et dont toutes les parties sont homogènes, ou peuvent être considérées comme telles; dans la seconde, nous verrons comment pèsent et se mettent en équilibre ensemble plusieurs fluides dont les densités sont différentes. Dans la troisième, nous examinerons comment les corps solides se mettent en équilibre avec les fluides dans lesquels on les plonge.

Pesanteur et Equilibre d'un fluide seul et homogène.

283. Nous avons à examiner ici la manière dont une liqueur, ou en général un fluide, pris séparément et sans comparaison avec d'autres, exerce sa pesanteur sur les obstacles qui le retiennent, et comment il se met en équilibre avec lui-même.

284. *Les parties d'une même liqueur exercent leur pesanteur indépendamment les unes des autres.* Cette propriété vient de ce qu'elles n'ont presque point de cohésion entr'elles. Ce qui est très-différent de la manière de peser des corps solides; leurs parties étant adhérentes entr'elles, elles pèsent toutes en commun. Aussi le choc d'un corps solide est-il très-différent de celui d'une liqueur. On craint la chûte d'un glaçon d'une livre qui tomberoit sur la tête; et l'on n'a pas peur d'être blessé par une livre d'eau. Cette dernière substance, en avançant, se divise par la résistance de l'air, qui retarde les parties plus les unes que les autres; et la vîtesse de la masse totale est encore plus retardée à cause de cette division, qu'elle ne l'eût été sans cela. Ainsi divisée, elle s'applique à une plus grande surface, ce qui partage son effort: au lieu qu'un solide ne frappe qu'un petit espace qui reçoit l'effort entier. C'est pourquoi un corps anguleux qui tombe sur la tête fait plus de mal qu'un corps plat de même poids, et qui tombe de même hauteur.

285. Il suit de ce principe que, si à un vase plein d'une liqueur, on fait un trou dans les bas, pour empêcher l'écoulement de cette liqueur, on n'a à vaincre que le poids de la colonne de liqueur qui répond au trou; et que ce poids à vaincre est le même, soit

qu'il n'y ait réellement que cette colonne de liqueur, soit que le vase en soit plein.

EXPÉRIENCE. Soit le vase cylindrique de verre A B (*fig.* 33), percé à son fond d'un trou C, garni d'une virole cylindrique de cuivre D d'un pouce de diamètre, que l'on bouche avec un piston G bien ajusté à la virole et bien graissé, afin qu'il puisse céder à une médiocre pression. Ce piston est porté par une petite tige G H, attachée en H à une soie qui enveloppe la portion de poulie M, dont est garnie l'extrémité du levier M N, qui a son centre de mouvement en L. L'autre portion de poulie N qui termine l'autre extrémité du levier est aussi enveloppée d'une soie qui porte un petit bassin I. Sur la virole D s'ajuste un tube cylindrique de verre F E, dont le diamètre intérieur est égal à celui de la virole, et dont la hauteur, lorsqu'il est en place, égale celle du vase A B. Le tout ainsi disposé, on remplit d'eau le tuyau E F, et l'on met dans le bassin I des poids tels qu'ils puissent être enlevés par le poids de la colonne d'eau lorsque le tube est plein; et en même temps tels qu'ils empêchent le piston et la colonne d'eau de descendre, s'il s'en faut seulement de 12 ou 15 millimètres que le tuyau E F ne soit plein. Ensuite on ôte le tuyau E F; on met le piston G dans la virole D, et l'on verse de l'eau dans le vase. On observe que les poids et le bassin I ne sont enlevés que lorsque le vase A B est entièrement plein. Donc on n'a que le même poids à vaincre, soit qu'il n'y ait sur le piston G qu'une colonne d'eau grosse comme lui, soit que le vase A B en soit plein. Donc, dans ce dernier cas, cette colonne exerce sa pesanteur indépendamment du reste.

286. Pour rendre raison de ceci, figurons-nous toute la masse d'eau contenue dans un vase, divisée en plusieurs colonnes, 1, 2, 3, 4, 5 (*fig.* 34), dont chacune est composée d'un égal nombre de parties. Si le fond du vase, qui sert de base et d'appui à toutes ces colonnes, vient à s'ouvrir en *a*, la colonne 3 n'étant plus soutenue, tombera par l'ouverture, en glissant entre les deux colonnes 2 et 4, qui sont soutenues par les parties *b* et *c* du fond du vase, et dont toutes les parties mobiles deviennent autant de petits rouleaux, qui n'occasionnant qu'un frottement de la seconde espèce (97), ne retardent pas beaucoup sa chûte. Cet effet résulte de leur peu de cohésion entr'elles (280). Si les colonnes 1 et 2 d'une part, et 4 et 5 d'autre part, étoient composées de parties adhérentes entr'elles, elles demeureroient de toute leur longueur, tel que le feroient, par exemple, des bougies; et par la chûte de la colone 3, il se feroit un vide entr'elles. Mais comme toutes ces particules sont extrêmement petites et très-mobiles les unes sur les autres, dès qne le haut de la colonne 3 vient à descendre, elles s'écroulent, n'étant plus soutenues de ce côté-là; et de cette manière, la superficie de la masse totale baisse toute ensemble, quoiqu'il n'y ait qu'une des colonnes qui fournisse à l'écoulement par sa chûte. Lorsque les parties ont de la viscosité, comme celles des liqueurs grasses, ou que la masse du fluide qui s'écoule a beaucoup de largeur par rapport à sa hauteur, on apperçoit très-bien le vide que laisse au-dessus d'elle la colonne qui descend; car alors la surface, au lieu d'être plane, est creuse dans le milieu, et prend la figure d'un entonnoir (360), parce que les parties voisines n'arrivent pas avec

assez de vîtesse pour remplacer celles qu'une pesanteur directe fait descendre : de plus, la pression de l'air au-dessus du trou est plus forte que sa résistance au-dessous.

287. Il est aisé d'apperçevoir, d'après ce que nous venons de dire (285), combien la liquidité apporte de changemens aux effets de la pesanteur. Si le vase A B (*fig.* 33) étant plein d'eau, et en ayant ôté le tube E F, on veut soulever le piston G, on n'a à soutenir que le poids de la colonne d'eau qui repose dessus, parce que cette colonne peut se mouvoir indépendamment du reste : mais si toute la masse d'eau se convertissoit en glace, par la seule raison qu'elle ne seroit plus liquide, et que toutes ses parties seroient adhérentes entr'elles, pour soulever le piston, on auroit à soutenir le poids de la masse totale.

288. *Les liqueurs exercent leur pression en toutes sortes de sens.* C'est-à-dire que non-seulement elles pèsent, comme le font les autres corps, de haut en bas, mais encore elles pressent avec toute la valeur de leur poids les obstacles qu'elles rencontrent latéralement et de bas en haut. Voilà pourquoi un tonneau plein d'huile liquide se vide quand on le perce sur le côté. Si l'huile étoit figée, il ne se videroit pas ; dans ce dernier cas, l'huile seroit un corps solide : or les corps solides ne pèsent que de haut en bas, et point latéralement.

289. Pour concevoir cette pression latérale, ainsi que celle que les liqueurs exercent de bas en haut, il faut faire attention que leurs molécules sont comme un amas de petits globules qui seroient contenus dans un vase : on conçoit aisément que ces petits globules n'y sont pas tous arrangés régulièrement et à la file

les uns des autres, comme nous les avons supposés ci-dessus (*fig.* 34); mais que le plus souvent une colonne exerce sa pression entre deux autres, et tend à les écarter, comme on peut le voir en la *fig.* 35, où la pression perpendiculaire qui se fait vis-à-vis du point *d* est transportée par les colonnes latérales vers les côtés *e*, *f* du vase; de sorte que si le vase étoit ouvert en ces endroits, la liqueur s'écouleroit par la grande mobilité de ses parties. Je ferai le même raisonnement pour rendre raison de la pression de bas en haut : quand la colonne *d f* tend à écarter les deux molécules *g*, *h*, la molécule *g* ne peut aller plus loin; parce qu'elle est appuyée contre les parois du vase; mais la mélocule *h* peut être soulevée de bas en haut, à moins qu'une colonne égale à la colonne *i k*, ou quelque chose d'équivalent, ne pèse sur elle pour la contenir.

290. C'est d'après ce principe, que l'eau élevée par la pompe de la Samaritaine ou par la pompe de Notre-Dame, après être descendue du bassin dans un tuyau vertical, et ensuite après avoir glissé horizontalement dans un autre tuyau sous le pavé, remonte par un troisième tuyau jusqu'à la fontaine, C'est encore d'après ce principe qu'on peut remplir un vase indifféremment ou par l'embouchure ou par le fond, en pratiquant à ce dernier des trous garnis de clapets, comme on le fait aux grands seaux dont on se sert pour tirer l'eau du puits de Bicêcre, sans cela, on seroit obligé d'incliner ces seaux pour les remplir; ce qui seroit incommode à cause de leur longueur.

291. Il suit encore de là que, quand on construit des digues, des réservoirs ou autres ouvrages hydrau-

liques ponr contenir des eaux, il faut les proportionner à la pression latérale qu'ils doivent éprouver, laquelle pression est d'autant plus grande que la hauteur de l'eau est plus considérable. Voilà pourquoi il faut que ces sortes d'ouvrages soient plus épais et plus forts dans le bas que dans le haut. Il faut prendre à-peu-près les mêmes précautions pour les fluides grossiers (280) qui pourroient s'écrouler, soit par la petitesse de leurs parties, soit par leur peu de liaison. Les murs destinés à retenir les terrasses, doivent donc être assez forts pour résister à la poussée latérale des terres, laquelle poussée sera d'autant plus grande que les terres seront moins liées, et les terrasses plus élevées.

292. *Toutes les parties d'une même liqueur sont en équilibre entr'elles, soit dans un seul vaisseau, soit dans plusieurs qui communiquent ensemble, lorsque leurs surfaces supérieures sont dans un même plan parallèle à l'horizon.* Ceci est une suite de ce que nous avons dit ci-dessus (289) : car, puisque la molécule *h* (*fig.* 55) doit être soulevée de bas en haut, à moins qu'une colonne égale à la colonne *i k* ne pèse sur elle pour la contenir; donc, pour qu'il y ait équilibre, il faut que les extrémités supérieures de ces deux colonnes soient dans un même plan horizontal, ou dans des points également distans du centre de la terre, lesquels points ne peuvent donc pas se trouver dans une ligne droite : à 2000 mètres de distance, il y a environ 325 millimètres de différence. Cette propriété des liqueurs fait que l'eau que l'on amène chez soi, par des canaux souterreins, remonte aussi haut que le lieu d'où elle vient, quelle que soit la profondeur à laquelle on la fait passer. Dans l'usage ordi-

naire, on donne à-peu-près $\frac{1}{2}$ millimètre d'inclinaison par mètre pour vaincre la résistance des frottemens (105); cependant, d'après ce que nous venons de dire, cela n'est point absolument nécessaire : quelque long que fût le chemin, l'eau arriveroit aussi haut que le lieu d'où elle vient; il lui faudroit seulement un peu plus de temps. Cela peut rendre encore raison des sources qu'on trouve quelquefois au sommet des montagnes. Ces eaux doivent venir de montagnes plus élevées (soit voisines, soit éloignées) par des canaux souterreins qui ont à-peu-près la forme de siphons renversés. Il suit de cet équilibre que, si l'on a plusieurs réservoirs qui communiquent ensemble, il suffit d'en voir un seul pour juger de la hauteur de l'eau dans les autres : elle sera sûrement à la même hauteur dans tous; c'est ce principe sur lequel est fondée la construction du niveau d'eau.

293. Nous venons de dire (292) que pour que les parties d'une même liqueur soient en équilibre, il faut que leurs surfaces supérieures soient dans un même plan parallèle à l'horizon. D'où il suit que, lorsque la surface des eaux a beaucoup d'étendue, elle est sûrement et sensiblement convexe. On s'en apperçoit aisément sur la mer : on y voit les mâts d'un vaisseau éloigné avant qu'on puisse appercevoir le corps du bâtiment; de même que sur terre et en plaine on apperçoit le haut des clochers d'une ville avant d'en voir les maisons. La raison de cela est que nous ne pouvons voir qu'en ligne droite, et que la convexité de la terre ou de la mer interrompt le rayon visuel qui vient des parties basses, à une distance où celui qui vient des parties élevées est libre d'arriver à l'œil du spectateur.

294. *Les liqueurs exercent leur pression, tant perpendiculaire que latérale, non en raison de leur quantité, mais en raison de leur hauteur au-dessus du plan horizontal, et de la largeur de la base qui s'oppose à leur chûte.* C'est-à-dire que si vous remplissez d'eau plusieurs vases qui soient tous de la même hauteur, et dont les fonds soient égaux, tous ces fonds seront également chargés, quelles que soient la forme et la capacite de ces vases. Supposons qu'on remplisse d'eau les trois vases A B C D (*fig.* 36), E F G H (*fig.* 37), L M N O P Q (*fig.* 38), dont les hauteurs A B, I F, L T, soient les mêmes, et qui aient tous des fonds égaux B C, F G, N O. Il est prouvé par l'expérience, que tous ces fonds sont également chargés, quoique les quantités d'eau qui remplissent les vases soient très-différentes. Dans le vase (*fig.* 36), le fond B C est chargé de toute la masse d'eau A B C D : ici la liqueur pèse à la manière d'un solide ; supposons que son poids soit de 6 kiliogrammes. Dans le vase (*fig.* 37), il est aisé de concevoir, d'après ce que nous avons dit ci-dessus (285), que le fond F G n'est chargé que de 6 kiliogrammes, quoique la capacité de ce vase soit beaucoup plus grande que celle du premier ; car ce fond F G ne porte que la colonne I F G K, égale à celle du vase (*fig.* 36), laquelle colonne exerce sa pesanteur indépendamment du reste (284), qui est porté sur les parois E F, H G du vase (*fig.* 37). La difficulté consiste donc à entendre comment, dans le vase (*fig.* 38), le fond N O est encore chargé de 6 kiliogrammes, quoiqu'un kiliogramme d'eau suffise peut-être pour remplir ce vase. Voici comment on peut le faire comprendre. Il est certain que, sur la portion T V du

fond N O, il y a une pression égale à celle d'une colonne d'eau dont la base est l'étendue T V, et la hauteur L T. Si sur toutes les autres pareilles portions du même fond, il y a une pression égale à celle de cette colonne L T V Q, ce fond est par-tout également chargé. Or, par exemple, sur la portion V X il y a une pression égale à celle d'une colonne d'eau Q V X R, laquelle est elle-même égale à la colonne L T V Q : car la petite colonne d'eau P V X S, qui repose dessus, tend à s'élever par la pression de la colonne voisine L T V Q (289), et avec une force égale à l'excès L M P Q de cette grande colonne sur la petite : elle presse donc la partie P S du fond supérieur avec cette force-là. Mais *la réaction est égale à la compression* (112). La partie P S réagit donc avec une force égale à l'excès L M P Q de la grande colonne sur la petite. Donc il y a sur la portion V X du fond N O, une pression composée de celle de la petite colonne P V X S, et de la réaction de la partie P S, égale à la pression d'une colonne d'eau Q P S R, lesquelles deux, prises ensemble, égalent la pression de la colonne L T V Q. Ce que je dis de la portion V X, on peut le dire de tout le reste. Donc le fond du vase (*fig.* 38) est par-tout également chargé; donc, etc.

295. Il suit de là une proposition qui paroît d'abord être un paradoxe, mais qui n'en est pas moins certaine, et qui influe considérablement sur presque toutes les machines hydrauliques; savoir, que le même quantité d'eau peut faire un effort deux ou trois cents fois plus ou moins grand, suivant la manière dont elle est employée. Par exemple, si l'on employoit la quantité que peut contenir le vase

(*fig.* 37) dans un vase pareil à celui de la *fig.* 38, mais assez haut pour la contenir toute, la pression sur le fond N O seroit considérablement plus grande que sur le fond F G.

296. Il suit encore de ce que nous venons de dire (294), qu'on peut faire crever un tonneau T O (*fig.* 39) déjà plein, en le chargeant de quelques kiliogrammes d'eau, employés dans un tuyau A B, long de 9 à 10 mètres. Par ce que nous venons de dire du vase (*fig.* 38), il est clair que cette petite quantité d'eau, qui remplit le tuyau A B, charge le fond du tonneau autant que si on lui ajoutoit une colonne d'eau grosse comme le tonneau lui-même, et longue comme le tuyau, ce qui seroit un poids énorme.

Pesanteur et Équilibre de plusieurs fluides dont les densités sont différentes.

297. Nous avons dit ci-dessus (280) que les fluides sont des amas de petits corps très-mobiles entr'eux, indépendans les uns des autres, pesant séparément et à proportion de leurs petites masses. Il faut ajouter que chacun de ces petits corps est lui-même un assemblage de petites particules beaucoup plus déliées, et fortement adhérentes entr'elles. Les figures et les grandeurs de ces petites particules, ainsi que les figures des petits corps qu'elles composent, occasionnant plus ou moins de vides dans l'assemblage, et par conséquent plus ou moins de porosité (15), il en résulte des fluides ou liqueurs de différentes densités.

298. *La différence du poids ou de la densité suffit pour séparer les parties de plusieurs fluides ou liqueurs qu'on a mêlés ensemble, si d'autres causes*

plus fortes n'empêchent cet effet. Nous avons dit ci-dessus (284) que les parties des fluides exercent leur pesanteur indépendamment les unes des autres. Celles qui ont le plus de densité, ayant plus de force pour occuper le lieu le plus bas, obligent donc les autres à leur céder leur place; et ainsi se fait la séparation: comme lorsqu'on a bien mêlé ensemble de l'eau et de l'huile, si on laisse reposer le tout, l'eau ayant plus de densité que l'huile, s'empare de la partie inférieure, et l'huile passe à la partie supérieure. Si cet effet n'a pas lieu, c'est qu'il y a des causes qui s'y opposent. Ces causes sont, 1°. les frottemens qui croissent à mesure que la division est portée plus loin, parce qu'alors les surfaces augmentent; comme lorsqu'on mêle ensemble de l'eau et du vin; l'eau, quoique plus dense que le vin, ne s'en sépare point. 2°. La viscosité des matières, comme lorsqu'on bat des blancs d'œufs, et que par-là on y mêle beaucoup d'air; l'air, quoique beaucoup plus léger, n'a pas la force de rompre ses enveloppes pour s'échapper. 3°. L'analogie entre deux liqueurs, qui fait qu'elles se divisent davantage, et éprouvent par-là des frottemens qui font plus que compenser la différence de leurs densités; car l'esprit-de-vin bien mêlé à l'eau ne s'en sépare pas, et l'huile s'en sépare. C'est pourquoi le repos seul suffit pour séparer la crême, qui est une matière grasse, du lait, qui est une substance aqueuse.

299. *Deux fluides de densités différentes sont en équilibre entr'eux, lorsqu'ayant la même base, leurs hauteurs perpendiculaires à l'horizon sont en raisons réciproques de leurs densités ou pesanteurs spécifiques.* Alors les pressions sont égales, d'où naît

l'équilibre. Si l'on met, par exemple, du mercure dans un siphon renversé, et que l'on verse de l'eau dans une des branches; pour faire élever le mercure dans l'autre branche d'un centimètre au-dessus de son niveau, il faut que l'eau soit à environ 13 $\frac{1}{2}$ centimètres de hauteur. La hauteur de l'eau sera donc 13 $\frac{1}{2}$ fois aussi grande que celle du mercure; de même que la densité du mercure est 13 $\frac{1}{2}$ fois aussi grande que celle de l'eau.

300. Les fluides élastiques ou aériformes ont, comme fluides, toutes les propriétés de ces sortes de substances, et on peut leur appliquer tout ce que nous avons dit jusqu'ici sur l'équilibre des fluides. Mais ils ont de plus d'autres propriétés particulières, dépendantes de leur vertu élastique, ou de cette faculté par laquelle ils diminuent ou augmentent de volume, selon qu'ils sont plus ou moins comprimés. L'air, dont nous donnerons ci-après (643) l'analyse, est, de tous les fluides élastiques, le plus connu, le plus répandu, et l'agent le plus universel de la nature. C'est de sa pression et de son équilibre dont nous allons nous occuper, et il sera aisé d'appliquer la même théorie aux autres espèces de fluides élastiques.

301. *L'air est un fluide pesant, et qui exerce sa pression dans tous les sens, à la manière des autres fluides ou liqueurs.* Quoique la pesanteur ne soit pas un attribut essentiel à la matière, et que nous puissions la concevoir sans cette tendance vers le centre de la terre, cependant nous ne connoissons aucune substance sublunaire qui ne soit pesante, et nous n'avons point de raison d'excepter l'air de la loi commune à tous les corps sublunaires. Cependant les an-

ciens philosophes ne connoissoient point la pesanteur de l'air. Ils admettoient dans la nature deux sortes de corps; les corps pesans, tels qu'une pierre, un métal, et en général tous les corps qui, étant abandonnés à eux-mêmes, se portent au lieu le plus bas; et les corps légers, tels que l'air, la flamme, les vapeurs, etc. parce que ces corps semblent s'élever dans les régions supérieures. Ils pensoient donc que l'air étoit doué d'une légéreté absolue, et tous les effets qui ont sa pesanteur pour cause étoient attribuées à l'*horreur* que la nature avoit, selon eux, pour le *vide*. Cette légéreté de l'air a eu un règne très-long; il n'y a guère que cent cinquante ans qu'on est convaincu de sa pesanteur. Les fontainiers de *Côme de Médicis*, grand-duc de Toscane, desirant faire monter l'eau à 50 ou 60 pieds (environ 20 mètres) par le moyen d'une pompe aspirante, s'apperçurent que l'eau ne montoit qu'à une certaine hauteur, passé laquelle la nature, par le vide qui s'y trouvoit, étoit reconciliée avec lui, ou du moins souffroit, sans se plaindre, cette défectuosité. Ce caprice, de la part de la nature, fut communiqué par les fontainiers à *Galilée*, qui y fit attention, quoique jusqu'alors il se fût payé, comme les autres, de l'*horreur du vide*, n'en ayant point apperçu les bornes. Il s'assura donc, par des épreuves réitérées, que l'eau ne montoit qu'à environ 32 pieds (10,395 mt.) dans les pompes aspirantes, et que le reste du tuyau, s'il étoit plus long, demeuroit vide. Il ne lui en fallut pas davantage pour se révolter contre l'*horreur du vide*, et, bien loin de penser qu'elle avoit ses limites, au-delà desquelles elle se tournoit en indifférence, il commença à croire que ces sortes de

phénomènes

phénomènes avoient une cause physique bien différente de ce qu'on avoit imaginé jusqu'alors pour les expliquer. Ce qu'il avoit soupçonné, *Toricelli*, son disciple, le mit en évidence. Il fit voir le premier, en 1645, qu'une colonne d'air prise dans l'atmosphère se met en équilibre avec une colonne d'un autre fluide qui a la même base; et afin de n'avoir pas besoin d'un long tuyau, au lieu d'eau, il se servit de mercure. Il prit donc un tube de verre d'environ 3 pieds (environ 1 mètre) de long, de 2 à 3 lignes (environ 6 millimètres) de diamètre, hermétiquement fermé par un bout, et ouvert par l'autre : il le remplit de mercure bien net; et ayant bouché l'orifice avec le doigt, il renversa le tube, et plaça ce bout ouvert dans un vase plein du même mercure. Il n'eut pas plutôt retiré son doigt, que la colonne de mercure, qui avoit environ 36 pouces (environ 1 mètre) de long, se réduisit à la longueur d'environ 28 pouces (758 millimètres). Si l'on compare maintenant l'expérience de *Galilée* à celle de *Toricelli*, on verra que les colonnes des fluides élevés ainsi au-dessus de leur niveau, diminuent de longueur comme leurs densités augmentent; on verra que la cause qui élève l'eau à 32 pieds, ne peut soutenir le mercure qu'à 28 pouces. Quand on sait d'ailleurs que ces deux colonnes, si différentes en longueurs, ont des poids parfaitement égaux, n'est-on pas forcé de reconnoître que cet effet est celui d'un équilibre? Et quelle est la puissance qui peut faire équilibre à ces colonnes suspendues, si ce n'est l'air qui presse par son poids sur les réservoirs? C'est aussi le jugement qu'en porta *Toricelli*, et qu'en portèrent après lui presque tous les physiciens.

302. *Pascal* ajouta encore aux preuves de *Toricelli*. Voici le raisonnement qu'il fit : « Si l'air est la » cause de ce phénomène, c'est parce qu'il est pesant » et fluide : sa pression doit donc se faire comme celle » des liqueurs; elle doit diminuer ou augmenter selon » sa hauteur; et les colonnes de liqueurs avec lesquelles » on le mettra en équilibre, seront toujours plus ou » moins longues, selon qu'elles seront moins ou plus » denses ». Il suit de là que les colonnes d'air doivent faire une pression d'autant plus grande, et soutenir les liqueurs d'autant plus haut, qu'elles ont plus de longueur : or elles en ont plus au bas d'une montagne, et elles en ont moins à son sommet. *Pascal* engagea donc *Perrier*, son beau-frère, qui étoit alors à Clermont en Auvergne, à profiter de l'élévation de la montagne connue sous le nom du *Puy-de-Dôme*, pour faire l'expérience suivante.

303. EXPÉRIENCE. *Perrier* plaça le tube de *Toricelli* sur une planche graduée en pouces et en lignes; et ayant remarqué à quelle hauteur le mercure étoit soutenu dans ce tube au pied du Puy-de-Dôme, il observa qu'il baissoit de plus en plus à mesure qu'il s'avançoit vers le haut de la montagne, et qu'au contraire il remontoit, et suivant les mêmes proportions, à mesure qu'il descendoit vers la ville. La différence se trouva être de 3 pouces 1 ligne ($83\frac{1}{2}$ millimètres). Cette expérience, imaginée par *Pascal*, et répétée plusieurs fois, a toujours donné le même résultat; d'où l'on a conclu que le mercure se soutenoit au-dessus de son niveau dans le tube de *Toricelli*, par la pression de l'air sur le réservoir, puisqu'on voyoit baisser le mercure dans le tube, lorsque la colonne d'air, qui répondoit à ce réservoir,

devenoit moins longue. Ces expériences, en prouvant invinciblement la pesanteur de l'air, restituèrent authentiquement à ce fluide un très-grand nombre d'effets naturels, qu'on avoit attribués jusqu'alors à une cause purement chimérique.

304. *Pascal* répéta ensuite la même expérience avec de l'eau, du vin, de l'huile, etc. et les hauteurs des colonnes de ces liqueurs se trouvèrent toujours proportionnelles à leurs densités; preuve évidente qu'elles se mettoient en équilibre avec un poids qui ne ne pouvoit être que celui de l'air.

305. Plusieurs physiciens s'étant procuré un tube de *Toricelli*, placé, à la manière de *Perrier* (303), sur une échelle graduée en pouces et en lignes, ne manquèrent pas de le visiter souvent; ce qui fit remarquer les variations qui arrivent à la hauteur du mercure dans le tube. On conclut de là que la pression de l'air, qui est la cause de la suspension de la colonne de mercure, est tantôt plus et tantôt moins grande, et agit par conséquent plus ou moins fortement sur nos corps : en conséquence, on pensa dès-lors à faire du tube de *Toricelli* un nouvel instrument météorologique, qui est celui que nous appelons aujourd'hui *baromètre* (*fig.* 40.)

306. L'air agit de deux manières sur cet instrument, par son poids et par son ressort. La variation de sa pression sur le réservoir du baromètre est donc produite par deux causes; savoir, par la variation de son poids et par celle de son ressort. Son poids varie par la variation de sa densité, et par le plus ou le moins de substances étrangères qui se trouvent mêlées à ce fluide, ou qu'il tient en dissolution; et

son ressort varie par la variation de sa densité, et par le plus ou le moins de chaleur dont il est affecté. La plupart des substances étrangères qui ne font que se mêler à l'air sous la forme de fluides élastiques, diminuent le poids de la colonne d'air, parce qu'elles sont plus légères que lui; mais celles de ces substances qui sont dissoutes dans l'air ajoutent à sa densité, et par conséquent à son poids, de même que du sel dissous dans l'eau augmente son poids et sa densité. A l'égard du ressort de l'air, la chaleur qui l'augmente diminue en même temps sa densité, en le raréfiant; et il arrive quelquefois que l'un compense l'autre. Mais, comme l'augmentation du ressort de l'air par la chaleur est proportionnelle à la force qui le comprime dans le moment où il est échauffé (932), il se peut faire que cette compensation n'ait pas lieu. Alors, de ces deux effets, on n'apperçoit que l'excès du plus fort sur le plus foible.

307. Le baromètre a encore une autre propriété qui ne le rend pas moins recommandable. Il annonce d'avance les changemens de temps, sur-tout quand ils doivent être considérables. Il y a bien des circonstances où ces sortes de prédictions deviennent utiles, comme, par exemple, pour les travaux de la campagne, pour les voyageurs, etc. D'après toutes les observations qu'on a faites sur le baromètre, il paroît assez constant, 1°. que la hauteur moyenne du mercure est en France de 27 $\frac{1}{2}$ pouces (744 millimètres); 2°. que les variations de cette hauteur ne s'y étendent

m. mt.

guère au-delà de 3 pouces (81,21), c'est-à-dire, que son plus grand abaissement est à 26 pouces (704 millimètres), et sa plus grande élévation à 29 (785 mil-

limètres); 3°. que ces variations sont moins grandes vers l'équateur, et qu'elles sont plus grandes vers les climats septentrionaux; 4°. que, lorsque le mercure baisse dans le baromètre, à quelque hauteur qu'il soit alors, il annonce de la pluie ou du vent, ou en général ce qu'on appelle mauvais temps; 5°. qu'au contraire, lorsqu'il monte, ne fût-il qu'à 26 pouces (704 millimètres) lors de son ascension, il annonce le beau temps; 6°. que ces prédictions manquent quelquefois, sur-tout si les variations de hauteur du mercure se font lentement et d'une petite quantité; 7°. qu'au contraire, elles sont presque infaillibles quand le mercure monte ou descend d'une quantité considérable en peu de temps, comme, par exemple, de 3 ou 4 lignes (environ 8 millimètres) en quelques heures.

308. Il est bien clair qu'une plus grandes élévation du mercure dans le baromètre, dénote une plus grande pression de la part de l'air; mais il reste à savoir quelle affinité il y a entre cette pression plus ou moins grande, et le changement de temps, qui n'arrive quelquefois que dix ou douze heures après. C'est ce que nous allons tâcher d'expliquer. La pression que l'air exerce sur le réservoir du baromètre, vient de son poids et de son ressort : or ces deux choses peuvent varier, comme nous venons de le prouver (306), et en conséquence la pression qu'elles produisent. Toutes les fois que l'air dissoudra une grande quantité d'eau, sa pesanteur spécifique en sera augmentée (306); la colonne d'air qui repose sur le réservoir du baromètre, en deviendra plus pesante, et le mercure remontera. Si la dissolution n'est pas parfaite, la transparence de l'air sera trou-

blée; cela produira des brouillards, qui ne manquent guère de faire monter le baromètre. Mais si la dissolution devient parfaite, la transparence de l'air sera complète : le beau temps renaîtra; ce qu'annoncera le mercure du baromètre par son ascension. Lorsque quelques causes détermineront cette eau dissoute à se précipiter et à descendre dans la région basse de l'atmosphère, avant qu'elle soit assez condensée pour se ramasser en gouttes et former de la pluie, il y en aura déjà une partie qui sera arrivée jusqu'à la surface de la terre. La preuve de cela, c'est que, lorsque le temps se prépare à la pluie, tous les corps qui ne sont pas susceptibles d'être pénétrés par l'eau, tels que les rampes de fer, les pierres dures, etc. se trouvent humides. La colonne d'air qui presse sur le réservoir du baromètre, deviendra donc moins pesante par la perte de cette portion d'eau, arrivée déjà jusqu'à terre; et le baromètre descendra et annoncera la pluie, qui surviendra peu de temps après, étant formée par le reste de l'eau qui aura eu le temps de se ramasser en gouttes.

309. Il y a, je l'avoue, des observations qui semblent contredire l'explication que nous venons de donner. Il arrive quelquefois que le baromètre remonte même pendant la pluie, pendant que l'air se décharge de l'eau qu'il tenoit en dissolution : de même il arrive souvent, et je l'ai observé plusieurs fois, sur-tout en hiver, que, pendant des mois entiers, toutes les fois que le mercure monte dans le baromètre, la pluie survient, et toutes les fois qu'il descend, le beau temps renaît. Je crois cependant que cela peut très-bien se concilier avec l'explication ci-dessus (308). Car, comme nous l'avons dit,

c'est la grande quantité d'eau dissoute dans l'air qui en augmente le poids. Si donc, pendant la pluie, il se fait dans l'air une nouvelle dissolution d'eau plus abondante que la quantité qui en tombe (et cela arrive par fois), le baromètre remontera. Si cette eau ainsi dissoute demeure dans la région basse, cette ascension du baromètre annoncera une nouvelle pluie; c'est ce qui arrive souvent en pareille circonstance. Enfin, si l'air dissout une grande quantité d'eau, et qu'en même temps le froid ou quelque autre cause empêche cette eau de se dissoudre parfaitement et de s'élever à une grande hauteur, elle n'en augmentera pas moins le poids de l'air, ce qui fera monter le baromètre; et cependant elle sera toute prête à se ramasser en gouttes et à former de la pluie, qui tombera peu de temps après. Pendant que cette pluie tombera, s'il n'y a point de nouvelle dissolution, l'air en deviendra plus léger; le baromètre descendra donc, et malgré cela annoncera le beau temps qui doit suivre. Voilà, je crois, comment on peut rendre raison de l'espèce d'affinité qui paroît subsister entre le poids de l'air et le changement de temps, suivant les circonstances. Le beau temps pourra aussi avoir lieu, malgré la diminution du poids de l'air, lorsqu'il se mêlera à ce fluide quelque autre fluide élastique plus léger que lui, et qui n'en troublera point la transparence. Enfin le ressort de l'air, dont la force peut varier par différentes causes, contribuera encore à faire varier sa pression : ce ressort agit quelquefois conjointement avec le poids, pour en augmenter l'effet; d'autres fois il agit en sens contraire, et peut ainsi diminuer ou même compenser l'effet de l'augmentation de poids. De sorte que le

beau ou le mauvais temps peut subsister, à quelque hauteur que soit le mercure dans le baromètre ; et cela, sans infirmer l'explication que nous avons donnée de ce phénomène.

310. Le tube de *Toricelli*, dont les physiciens ont fait le baromètre, est celui qu'on appelle *simple*. C'est sans doute, de tous ceux qu'on a imaginés jusqu'à présent, celui qui doit être préféré pour les observations qui demandent de l'exactitude, à cause des inconvéniens inévitables qui se trouvent dans les autres. Si l'on est curieux de connoître ces autres baromètres, on les trouvera amplement et exactement décrits dans mon *Dictionnaire raisonné de Physique, tome I.*

311. Nous avons dit (301) que l'air exerce sa pression en toutes sortes de sens, de haut en bas, latéralement et de bas en haut. Sa pression de haut en bas est bien prouvée par ce qui précède. Il est aisé de faire appercevoir sa pression latérale, ainsi que celle de bas en haut. Si l'on perce, sur le côté ou par le bas, un tonneau plein ou à-peu-près, d'un petit trou, comme seroit, par exemple, celui d'une vrille, la liqueur ne s'écoule pas, parce que l'air, qui se présente au trou, soutient cette liqueur, qui n'a pas assez de hauteur pour vaincre sa pression. Enfin tous les effets qui dépendent de la pression de l'air, ont lieu dans une chambre où la colonne d'air se termine au plafond, aussi bien que dehors, où cette colonne a toute la hauteur de l'atmosphère ; et cela, parce que l'air de la chambre communique avec celui du dehors, ne fût-ce que par le trou de la serrure. Ainsi, dans un baromètre placé dans un appartement, le mercure se tient aussi haut que si ce baromètre étoit en plein champ.

312. *C'est de la pression de l'air d'où dépend le jeu des siphons.* Un siphon est un tuyau courbé A B C (*fig.* 41) de verre, ou de métal, ou de bois, etc. et dont une branche A B est plus courte que l'autre B C. Pour faire usage de cet instrument, on place l'extrémité A (*fig.* 42) de la courte branche A B dans le vase E E qui contient la liqueur: on ôte l'air du siphon en suçant par l'extrémité C de la longue branche B C. Alors l'écoulement commence, et ne finit que lorsque la courte branche A B ne plonge plus du tout dans la liqueur. Il est aisé de voir que c'est la pression de l'air, sur la surface de la liqueur dans le vase, qui cause cet écoulement. Car supposons G F les confins de l'atmosphère, tous les poids de la surface A de la liqueur sont également pressés par la colonne d'air A F: si, à quelque endroit de cette surface, on supprime cette pression, la liqueur doit s'écouler par-là, puisqu'elle y trouve moins de résistance que partout ailleurs: c'est pourquoi le siphon se remplit en entier, lorsqu'on suce l'air par l'extrémité C.

313. Si les deux branches du siphon étoient d'égale longueur, comme B A, B D, l'écoulement n'auroit pas lieu, parce que la colonne d'air D G, qui résisteroit en D, étant aussi haute que celle qui presse en A, lui feroit équilibre, de même que se le font les deux colonnes de liqueur B A, B D. Mais lorsque l'une B C des deux jambes est plus longue que l'autre, quoique la colonne d'air G C qui lui répond, soit plus longue que celle qui presse en A, elle n'est pas capable d'empêcher l'écoulement. En voici la raison. Considérons la colonne d'air G C comme divisée en deux parties, dont une G D fait équilibre à la colonne d'air F A, et seroit capable d'arrêter l'écoulement, si la branche

B C finissoit en D. La portion de liqueur qui remplit la partie D C du siphon, ne trouve donc plus d'autre résistance en C, qu'une colonne d'air D C de même longueur qu'elle, mais qui lui est très-inférieure en poids. Cette portion de liqueur s'écoule donc par l'excès de son poids. Mais tandis qu'elle coule, rien ne soutient celle qui est au-dessus, qui la suit nécessairement, pendant que la pression de l'air en A fournit de nouvelle liqueur pour remplacer celle qui s'est écoulée. C'est ainsi que l'écoulement devient continu. C'est pourquoi la résistance de l'air en C est d'autant plus vaincue, que la longueur de la branche B C du siphon excède davantage celle de la branche A B. On en aura la preuve, si l'on ajoute en C un bout de tuyau qui alonge cette branche; car alors, dans un temps donné, il s'écoulera plus de liqueur qu'il ne s'en écouleroit sans cet alongement. La figure et la matière du siphon ne changent rien à l'effet: une veine de sable en feroit l'office.

314. Puisque c'est la pression de l'air qui élève la liqueur dans la courte branche B A, il s'ensuit que la hauteur de cette branche est limitée à 32 pieds (10,395 mt.) quand la liqueur est de l'eau; par la raison que l'air ne peut pas faire monter l'eau plus haut (301); et que lorsque la liqueur est du mercure, la hauteur de la courte branche ne doit pas excéder 28 pouces (758 m. mt.), puisque l'air ne peut soutenir le mercure qu'à cette hauteur.

Pesanteur et équilibre des Solides plongés dans les Fluides.

315. Il est certain qu'un solide qu'on plonge dans une liqueur, et qui est en même temps impénétrable à cette liqueur, occupe la place d'un volume de cette liqueur parfaitement égal au sien. Ce volume de liqueur déplacé, ou égale en densité ou en poids le solide qui prend sa place, ou bien l'un des deux pèse plus que l'autre. Dans ce dernier cas, qui est le plus commun, on appelle *pesanteur respective*, la quantité dont le plus pesant surpasse le plus léger.

316. *Un corps solide entièrement plongé dans un fluide, est comprimé de toutes parts par le fluide qui l'entoure; et la pression qu'il éprouve est d'autant plus grande, qu'il est plus profondément plongé, et que le fluide a plus de densité.* Nous avons prouvé ci-dessus (288) que les liqueurs ou fluides exercent leur pression en toutes sortes de sens: par conséquent un corps solide, plongé dans un fluide, est comprimé de toutes parts. Nous avons prouvé (294) que cette pression croît en raison de la hauteur du fluide: donc la pression qu'éprouve le corps plongé, est d'autant plus grande, qu'il est plus profondément plongé. Enfin nous avons prouvé (299) qu'il y a équilibre entre deux fluides dont les hauteurs sont en raisons réciproques de leurs densités: donc, à profondeurs égales, le corps plongé est d'autant plus comprimé, que le fluide a plus de densité.

317. Nous qui sommes plongés dans l'air, qui est un fluide qui agit suivant toutes les loix de l'hydrostatique (301), nous sommes donc comprimés de toutes parts par l'air qui nous environne: nous le

sommes plus dans un lieu bas que dans un lieu élevé; et nous le sommes d'autant plus, que l'air a plus de densité. Il est vrai que nous nous appercevons peu de cette pression, quoiqu'elle soit très grande, puisque, pour une personne d'une moyenne taille, elle excède le poids de 30000 livres (14685 kiliogrammes 175398 milligrammes) : cela vient, 1°. de ce que cette pression sur nous est continuelle; or les sensations habituelles ne sont pas, en quelque façon, des sensations pour nous; nous ne nous appercevons bien que des choses extraordinaires : 2°. de ce que nous respirons intérieurement le même fluide; ce qui établit un équilibre entre la pression extérieure et la réaction intérieure. Nous nous appercevons encore moins des différences de cette pression, parce qu'elles sont trop peu sensibles. Il n'en seroit pas ainsi, si, de même que les poissons, nous vivions dans un fluide beaucoup plus dense, comme l'eau. Un poisson qui est à la surface de l'eau, n'est chargé que du poids de l'atmosphère; mais s'il se plonge seulement à 10 mètres, (environ 31 pieds) de profondeur, la pression qu'il éprouve dans ce second cas, est double de celle qu'il éprouvoit dans le premier. C'est une des principales raisons qui ont fait abandonner l'usage de la cloche du plongueur : à 20 mètres (environ 62 pieds) de profondeur, on éprouvoit une pression, soit extérieure, soit intérieure, déjà trop forte pour pouvoir la soutenir pendant quelque temps sans danger de rupture de vaisseaux et de crachement de sang.

318. *Un corps plongé dans un fluide, ajoute à ce fluide un poids égal à celui du volume de fluide qu'il déplace, quelle que soit la densité de ce corps.* Si, dans un vase à-peu-près plein d'eau, suspendu au bras

d'une balance, et en équilibre avec un poids pendu à l'autre bras, on plonge, soit une boule de bois, soit une boule de plomb de même diamètre, fixée à une tige qu'on a soin de ne pas lâcher; dans l'un et l'autre cas on ajoute un poids égal; car le même poids placé à l'autre bras sera, dans les deux cas, nécessaire et suffisant pour rétablir l'équilibre. Donc, etc. La raison de cela est que le corps plongé fait élever la liqueur dans le vase dans lequel on le plonge, autant que si on y ajoutoit un volume de liqueur égal au sien : or les liqueurs pèsent en raison de leur hauteur perpendiculaire (294) : donc, quelle que soit la densité du corps plongé, pourvu que le volume soit toujours le même, il ajoutera toujours le même poids : et nous verrons bientôt que ce poids est égal à celui du volume de liqueur déplacé.

319. *Si le corps plongé est plus pesant que le volume de liqueur qu'il déplace, sa pesanteur respective* (et non pas sa pesanteur absolue) *le fait tomber au fond du vase, s'il est libre de lui obéir.* La preuve de cela, c'est que, pour l'empêcher de tomber, il ne faut pas un poids égal au sien, mais seulement un poids égal à l'excès de son poids sur celui du volume de liqueur déplacé. En effet, le corps plongé tient la place d'un volume de liqueur qui seroit en équilibre avec le reste : le volume de liqueur qui est au-dessous, ne doit donc lui céder sa place que suivant l'excès de son poids sur celui de ce volume de liqueur : or c'est cet excès que l'on appelle *pesanteur respective.* Il suit de là :

320. *Qu'un corps plongé dans un fluide perd une partie de son poids ; et cette partie perdue est parfaitement égale au poids du volume de fluide déplacé.*

EXPÉRIENCE. L (*fig.* 45) est un petit cylindre solide de cuivre, capable de remplir exactement la boîte M sous laquelle il est suspendu. On met le cylindre et la boîte en équilibre au fléau d'une balance, avec le poids N, placé sous l'autre bassin; et l'on plonge le petit cylindre dans l'eau. Alors le poids N l'emporte; donc ce corps plongé perd une partie de son poids. Pour rétablir l'équilibre, il suffit de charger le bras de la balance d'un volume d'eau égal à celui du cylindre L plongé; ce que l'on fait exactement en remplissant d'eau la boîte M. Donc ce corps plongé perd une partie de son poids parfaitement égale au poids du volume d'eau qu'il déplace; et la portion de son poids qui lui reste, n'est donc que sa pesanteur respective, la seule qu'on auroit à soutenir si l'on vouloit l'empêcher d'aller au fond. Voilà pourquoi il est si aisé d'empêcher un homme de se noyer, par quelque endroit qu'on le soutienne; car sa pesanteur respective dans l'eau est très-peu de chose.

321. Il suit de là, qu'*un corps ne tend jamais à tomber avec toute l'intensité de sa pesanteur absolue* (204); car il est toujours plongé dans un fluide; ce qui lui fait perdre une partie de son poids. Il ne lui reste donc, pour tomber, que sa pesanteur respective.

322. Il suit encore de là, 1°. Qu'*à quantité égale de matière ou à poids égaux, plus les corps ont de volume, plus ils perdent de leurs poids par l'immersion*; car ils déplacent alors un plus grand volume de liqueur :

323. 2°. Que, *plus la liqueur dans laquelle le corps est plongé a de densité, plus ce corps perd de*

son poids par l'immersion ; car alors il déplace un volume de liqueur qui a plus de poids. Or c'est le poids de ce volume de liqueur déplacé qui détermine la portion de son poids que perd le corps plongé (320). Un corps perdroit donc une plus grande portion de son poids dans l'eau que dans l'esprit-de-vin : il en perdroit encore une beaucoup plus grande portion dans le mercure.

324. *Si un corps est moins pesant qu'un pareil volume de la liqueur dans laquelle il est plongé, il surnage en partie ; et ce qui reste plongé, déplace une quantité de liqueur qui pèse autant que le corps entier.*

EXPÉRIENCE. Qu'on mette de l'eau dans un vase de verre garni d'un robinet par le bas (*fig.* 44) : qu'on marque, avec une bande de papier, la hauteur à laquelle est l'eau dans le vase : qu'ensuite on y mette une grosse boule de bois. Elle surnagera en partie : et la partie plongée fera élever l'eau dans le vase autant que si l'on y avoit ajouté un volume d'eau égal au volume de la partie plongée. Qu'ensuite on ôte de l'eau, par le moyen du robinet, jusqu'à ce que la surface soit baissée jusqu'à la marque où elle étoit en premier lieu. Il est clair qu'on aura ôté un volume d'eau égal au volume de la partie plongée. Qu'on pèse ensuite ce volume d'eau contre la boule de bois ; ils se feront mutuellement équilibre. Donc ils pèsent autant l'un que l'autre. Donc, etc.

325. Un bateau, placé sur la rivière, déplace donc une quantité d'eau qui pèse précisément autant que le bateau et toute sa charge ; et si on le charge davantage, il s'enfonce d'autant ; et sa partie plongée est d'autant plus grande qu'il est plus chargé, ou que

l'eau a moins de densité. Il s'enfonce donc moins dans la mer que dans l'eau douce. Ainsi, si un bateau doit aller alternativement sur la mer et sur l'eau douce, il ne faut pas le charger autant qu'il pourroit l'être sur la mer; car il seroit submergé dans l'eau douce.

C'est sur le principe établi ci-dessus (324), qu'est fondé l'usage de l'aréomètre.

326. L'aréomètre est un instrument par le moyen duquel on connoît la différence de la pesanteur spécifique des liqueurs. Le plus simple et le plus en usage consiste en une petite boule de verre mince B (*fig.* 45), soufflée à la lampe, et dont le col AC, qui est long et d'un petit diamètre, est divisé dans toute sa longueur, en parties égales. Afin que cet instrument puisse tenir au milieu des liqueurs dans une situation verticale, on fait en sorte que le centre de gravité se trouve vers la partie inférieure : c'est pour cela que l'on adapte au-dessous de la boule, une autre petite boule soufflée S, dans laquelle on met du mercure. Il n'y en faut mettre qu'une quantité telle que l'aréomètre en entier ne pèse pas tout-à-fait autant qu'un volume des liqueurs qu'on veut éprouver par son moyen, égal au volume de l'aréomètre même.

327. L'aréomètre ainsi construit, on le plonge dans les liqueurs que l'on veut comparer : il ne s'y enfonce pas en entier, puisque nous le supposons plus léger qu'un volume de la liqueur égal au sien : car les corps solides, plongés dans les liqueurs, cessent de s'y enfoncer, lorsqu'ils ont déplacé une quantité de liqueur dont le poids égale le leur (324). Ils s'y enfoncent donc d'autant plus profondément, que la liqueur est plus légère ou qu'elle a moins de densité; au contraire il s'y enfonce d'autant moins profondément, que

que la liqueur est plus pesante ou qu'elle a plus de densité. De sorte que si le poids de l'aréomètre est tel qu'il s'enfonce dans l'eau jusqu'à E, il s'enfoncera plus profondément dans des liqueurs plus légères : il s'enfoncera, par exemple, dans le vin jusqu'à F ; dans l'esprit-de-vin, jusqu'à G, etc. Mais, si on le plonge dans des liqueurs plus pesantes que l'eau, il ne s'y enfoncera pas si profondément que E : par exemple, dans la bière il ne s'enfoncera que jusqu'à D, et toujours d'autant moins que la liqueur dans laquelle on le plongera, sera plus dense, et par conséquent plus pesante.

328. Par ce procédé on connoîtra si une liqueur est plus ou moins pesante qu'une autre, à laquelle on la compare ; mais on ne connoîtra pas de combien ; car, pour cela, il faudroit connoître exactement le rapport qu'il y a de la tige A C, aux boules B et S ; ce qui est impossible, d'après la construction ci-dessus (326) : il faudroit de plus que la tige A C fût parfaitement cylindrique ; ce qui n'arrive jamais. Le plus sûr moyen d'acquérir cette connoissance exacte, est d'opérer toujours sur des volumes égaux. Pour cela il faut faire usage de l'aréomètre de *Farenheit*, qui est, sans contredit, le meilleur de tous ceux qu'on a imaginés jusqu'à présent.

329. L'aréomètre de *Farenheit* (*fig.* 46) est composé d'une petite bouteille ovale de verre mince B, soufflée à la lampe, dont le col A C, qui est très-menu, est surmonté d'un petit bassin D E, destiné à recevoir de petits poids. L'instrument est lesté au moyen d'une petite boule de verre soufflée S, adaptée à sa partie inférieure, et dans laquelle on a mis du

mercure. On fixe, sur le col, un petit grain d'émail *a*; et l'instrument est construit.

330. Pour faire usage de cet aréomètre, il faut commencer par connoître exactement son poids, qu'on fera bien de marquer dessus, afin de ne pas l'oublier. Ensuite on plonge l'instrument dans de l'eau distillée; et, en le chargeant de poids, on l'y fait enfoncer jusqu'au grain d'émail *a*. La somme des poids qu'on a mis dans le bassin D E, pour produire cet enfoncement, jointe au poids de l'aréomètre, donne exactement le poids du volume d'eau mesuré par l'aréomètre (324). On n'a qu'à faire la même opération sur telle autre liqueur qu'on voudra, et l'on aura, avec la même exactitude, le poids du volume de cette liqueur mesurée par l'aréomètre. Or il est clair que ces deux volumes sont parfaitement égaux, puisqu'ils sont mesurés par le même instrument : la différence de leurs poids donnera donc la différence de leur pesanteur spécifique, ou le rapport de leurs densités. Pour connoître ce rapport, on fera cette proportion : la pesanteur spécifique de cette liqueur, est à celle de l'eau distillée, comme le poids du volume de cette liqueur, mesuré par l'aréomètre, est au poids du volume d'eau, aussi mesuré par l'aréomètre. Si l'on connoît exactement la pesanteur spécifique de l'une, on connoîtra par-là la pesanteur spécifique de l'autre, ainsi que celle de toutes les liqueurs qu'on éprouvera de la même manière.

Si l'on veut connoître les différentes espèces d'aréomètres imaginées jusqu'à présent, on les trouvera exactement décrites dans mon *Dictionnaire raisonné de Physique, tome I.*

331. C'est d'après les principes que nous avons établis ci-dessus (315, 320), qu'on peut connoître la pesanteur spécifique des corps, soit solides, soit fluides. Cette pesanteur est le poids que pèse un corps sous un volume connu et déterminé, comme, par exemple, un décimètre cube. Pour acquérir cette connoissance, on pèse les corps hydrostatiquement, c'est-à-dire, 1°. dans l'air; 2°. dans l'eau. Il faut se servir, en pareil cas, d'eau distillée, afin d'être sûr d'avoir toujours la même, et faire en sorte que cette eau soit, dans toutes les épreuves, à la même température. On sait qu'un corps plongé dans l'eau, déplace un volume d'eau parfaitement égal au sien (315), et qu'alors il perd une portion de son poids parfaitement égale au poids du volume d'eau qu'il déplace (320). On a donc par-là, 1°. le poids de ce corps; 2°. le poids d'un volume d'eau parfaitement égal au volume de ce corps. Ces deux poids, comparés l'un à l'autre, donnent le rapport qu'il y a entre la pesanteur spécifique de ce corps et celle de l'eau (dont je suppose la pesanteur spécifique connue), en faisant cette proportion, dans laquelle 10000 représentent la pesanteur spécifique de l'eau; et l'on dit : Le poids du volume d'eau déplacé par ce corps, est au poids de ce corps, comme 10000 est à un quatrième terme, qui représente la pesanteur spécifique de ce corps.

Il ne laisse pas que d'y avoir des difficultés pour obtenir de l'exactitude dans les épreuves. Si l'on veut connoître ces difficultés, ainsi que les moyens de les prévenir, on les trouvera, les uns et les autres, exactement détaillés dans le *Discours préliminaire* de mon ouvrage sur la *pesanteur spécifique des corps*.

332. De ce que nous venons de dire, il suit, 1°. que,

quand deux corps sont égaux en volumes, leurs pesanteurs spécifiques sont l'une à l'autre comme leurs masses. Ainsi un corps est d'une pesanteur spécifique double de celle d'un autre, lorsqu'il a deux fois la masse de cet autre sous le même volume.

333. 2°. *Lorsque deux corps perdent des poids égaux dans la même eau, ils ont sûrement des volumes égaux,* quelque figure qu'ils aient; puisqu'ils y perdent toujours des poids égaux aux poids des volumes d'eau qu'ils déplacent (320).

334. 3°. *Les pesanteurs spécifiques des corps qui sont du même poids, sont en raison réciproque de leurs volumes.* Ainsi un corps est d'une pesanteur spécifique double de celle d'un autre corps, lorsqu'avec le même poids il n'a que la moitié du volume de l'autre corps.

335. 4°. *Les pesanteurs spécifiques de deux corps sont en raison composée de la raison directe de leurs masses, et de la raison réciproque de leurs volumes.* Cette proposition est une suite nécessaire des deux précédentes (332, 334).

336. 5°. *Un même corps perdra une plus grande portion de son poids dans un fluide spécifiquement plus pesant, que dans un plus léger;* puisqu'il perdra toujours une portion de son poids égale au poids du volume de fluide qu'il déplace (320). Il faut donc plus de force pour le soutenir dans un fluide plus léger, que pour le soutenir dans un fluide plus pesant: il faut plus de force pour le soutenir dans l'air, que pour le soutenir dans l'eau.

337. 6°. *Les pesanteurs spécifiques des corps également pesans sont réciproquement comme les quan-*

tités de leurs poids qu'ils perdent dans le même fluide. Ainsi, si, de deux corps de poids égaux, l'un perd $\frac{1}{3}$, et l'autre $\frac{2}{3}$, de son poids dans le même fluide, la pesanteur spécifique du premier est à celle du second, comme 2 est à 1; en raison réciproque des pertes de poids.

338. 7°. *Si un corps est de la même pesanteur spécifique qu'un fluide, et qu'on l'y plonge, il s'arrêtera à quelque profondeur du fluide qu'on le place;* il y sera en équilibre.

339. 8°. *Si un corps spécifiquement moins pesant qu'un fluide, y est entièrement plongé, et qu'on le lâche, il remontera avec une force égale à l'excès du poids d'un volume de ce fluide égal au sien, sur le poids de ce corps.* C'est par cette raison que les ballons s'élèvent dans l'air.

340. 9°. *La pesanteur spécifique d'un solide est à celle d'un fluide plus pesant, et sur lequel il nage, comme le volume de la partie plongée est au volume du corps entier.* Ainsi, si le volume de la partie plongée est au volume du corps entier, comme 2 est à 3; la pesanteur spécifique de ce solide est à celle du fluide, comme 2 est à 3.

341. 10°. *Le poids et le volume d'un corps, ainsi que la pesanteur d'un fluide, spécifiquement plus pesant que ce corps, étant donnés, trouver la force requise pour tenir ce corps entièrement plongé dans le fluide.*

Comme cette force est égale à la pesanteur respective du fluide (319); au moyen du volume donné du solide et du poids connu d'un décimètre cube du fluide; trouvez, par la règle de trois, le poids d'un

volume du fluide égal au volume du solide. Otez de ce poids le poids du solide, le reste est la force demandée. Par exemple, supposons que l'on demande la force nécessaire pour soutenir plongé dans l'eau un solide de 200 décimètres cubes de volume, et de 150 kiliogrammes de poids. Puisqu'un décimètre cube d'eau pèse 1 kiliogramme, le poids de 200 décimètres cube d'eau est 200 kiliogrammes : ôtez-en 150 kiliogrammes, les 50 kiliogrammes restans sont la force nécessaire pour tenir le solide plongé dans l'eau, et l'empêcher de remonter.

342. 11°. *Le poids d'un corps, qui doit être construit d'une matière spécifiquement plus pesante qu'un fluide, et la pesanteur de ce fluide spécifiquement plus léger étant donnés, déterminer la cavité que le corps doit avoir pour nager sur le fluide.*

Le poids d'un décimètre cube du fluide étant donné, on trouve, par la règle de trois, le volume de la portion du fluide égale en poids à celui du corps. Si donc on fait la cavité du corps telle que le volume soit un peu plus grand que le volume trouvé, le corps aura moins de poids sous le même volume que le fluide, et par conséquent sera spécifiquement moins pesant ; donc il nagera sur le fluide. Par exemple, supposons qu'on propose de faire une boule de fer de 30 kiliogrammes, et qui ait un volume tel qu'elle puisse nager sur l'eau. Puisque le poids d'un décimètre cube d'eau est 1 kiliogramme, un volume d'eau égal en poids à 30 kiliogrammes sera de 30 décimètres cubes : on trouvera facilement quel doit être le diamètre d'une sphère, pour qu'elle ait 30 décimètres cubes de solidité. On fera ensuite la boule de fer de manière qu'elle soit creuse en dedans, et que son diamètre soit

plus grand que le diamètre trouvé : si l'on donne à cette boule 311 millimètres de diamètre, elle surnagera. Il n'est donc pas nécessaire que, pour qu'un corps surnage, il soit d'une matière en elle-même plus légère que l'eau : il suffit de lui donner un grand volume et peu de masse. Aussi, quoique le cuivre soit environ 8 fois aussi pesant que l'eau, on a à l'armée des gondoles de cuivre pour établir des ponts pour le passage des troupes.

Phénomènes des Tuyaux capillaires.

343. On appelle *tuyaux capillaires*, les tuyaux menus, ou qui n'ont qu'un petit diamètre. Ce nom-là leur vient sans doute de leur ressemblance par leur petitesse avec les cheveux (en latin *capilli*). Cependant il n'est pas nécessaire qu'ils soient aussi menus que des cheveux : ceux dont on fait usage en physique, le sont beaucoup moins ; et même leurs effets se font appercevoir, quoique leur diamètre intérieur égale 5 millimètres. Ils peuvent être faits de toutes sortes de matières, de verre, de métal, etc. et peuvent avoir toutes sortes de formes. Tous les corps assez poreux et capables d'admettre les liqueurs dans leur intérieur, peuvent même être considérés comme des assemblages de tuyaux capillaires.

344. Nous plaçons ici les phénomènes des tuyaux capillaires, parce qu'ils paroissent être des exceptions aux loix de l'hydrostatique. Une de ces loix (292) est que *toutes les parties d'une même liqueur sont en équilibre entr'elles, soit dans un seul vaisseau, soit dans plusieurs qui communiquent ensemble, lorsque leurs surfacss supérieures sont dans un même plan*

parallèle à l'horizon. Or voici ce qui arrive avec les tuyaux capillaires.

345. 1°. Si l'on plonge l'extrémité d'un tuyau capillaire dans un vase plein de liqueur, aussitôt la liqueur s'élève dans le tuyau au-dessus de son niveau.

346. 2°. Si l'on plonge le même tuyau capillaire dans différentes liqueurs, toutes s'élèvent dans le tuyau au-dessus de leur niveau, mais à des hauteurs différentes : et ce ne sont pas toujours les moins pesantes qui s'élèvent le plus haut; car l'esprit-de-vin s'y élève beaucoup moins haut que l'eau, l'acide nitrique, l'eau salée, l'acide sulfurique concentré, l'urine, etc.; et ce sont celles que je viens de nommer les dernières, qui s'y élèvent le plus haut. D'où il suit qu'elles ne s'y élèvent point en raison inverse de leurs densités; ce qui devroit être, si leur élévation étoit un effet d'équilibre. Ce ne sont pas même toujours les plus légères qui s'y élèvent le moins; puisque l'urine s'y élève plus haut que l'acide sulfurique concentré. Ce qui fait voir que cette élévation ne suit aucune règle connue.

347. 3°. Si l'on plonge dans la même liqueur deux tuyaux capillaires de diamètres différens, la liqueur s'y élève au-dessus de son niveau, à des hauteurs qui sont en raison inverse des diamètres des tuyaux.

348. 4°. Le contraire de tout cela arrive avec le mercure, car si l'on plonge un tuyau capillaire dans du mercure, 1°. il s'y tient plus bas que son niveau; 2°. d'autant plus bas, que le tuyau est plus étroit; 3°. et ce *plus bas* est en raison inverse des diamètres des tuyaux.

349. Il y a long-temps que l'on cherche la raison

de ces phénomènes si contraires aux loix de l'hydrostatique, et si opposés à ce que l'on connoît d'ailleurs : mais on ne peut pas encore se flatter de l'avoir trouvée. On peut ranger en trois classes les différentes opinions qu'on a proposées sur cette matière.

350. La première comprend celles qui attribuent ces phénomènes à la pression inégale du fluide environnant ; en supposant qu'il presse plus librement et d'une manière plus complète sur la surface du vase A B (*fig.* 47) qui contient la liqueur, que par l'orifice supérieur du tuyau plongé D. On ne peut pas attribuer ces effets à la pression de l'air que nous respirons, puisque les mêmes phénomènes ont lieu dans le vide de Boyle. Il faut donc que cela dépende d'un fluide beaucoup plus subtil, dont nous ne nions pas l'existence. Mais si cela venoit de l'inégalité de pression de ce fluide, les liqueurs devroient s'élever, 1°. proportionnellement à la longueur du tuyau ; car si ce fluide y trouvoit de la difficulté, il est certain qu'il en éprouveroit davantage dans un plus long que dans un plus court ; cependant cela n'arrive pas. L'élévation de la liqueur dépend uniquement du diamètre intérieur du tuyau, et point du tout de sa longueur. 2°. Les liqueurs devroient s'élever en raison inverse de leurs densités : or, comme nous l'avons dit ci-dessus (346), l'expérience prouve que cela n'est pas. 3°. Le mercure devroit s'élever dans tous les tuyaux capillaires, au-dessus de son niveau, de même que le font les liqueurs ; ou bien il faudroit dire que, quand on présente le tuyau capillaire à du mercure, ce fluide presse plus librement par l'orifice supérieur du tuyau, que sur la surface du vase ; ce qui seroit absurde. 4°. Une preuve bien

complète que ces effets ne dépendent point d'une pression plus ou moins libre, c'est que, si, au lieu de plonger le tuyau dans la liqueur, on en fait couler une goutte ou deux en dehors et selon la longueur du tuyau, dès qu'elle est parvenue à l'orifice inférieur, elle y remonte comme dans les autres cas. Cette première opinion n'est donc rien moins que satisfaisante.

351. La seconde classe comprend les opinions de ceux qui prétendent que la petite colonne de liqueur perd son poids par son adhérence au tuyau, ou par le frottement. Ces opinions sont si mal conçues, qu'à peine méritent-elles qu'on y réponde. Il est certain, et l'expérience prouve que, pour que la liqueur monte dans le tuyau capillaire, il n'est point nécessaire de l'y plonger; il suffit qu'il touche à la surface de la liqueur le plus légèrement possible; alors la liqueur monte. Il faut donc une cause qui la fasse monter. J'avoue qu'on conçoit aisément comment une petite colonne de liqueur, une fois montée dans un tuyau capillaire, y pourroit être retenue par le frottement ou par son adhérence aux parois du tuyau; mais on conçoit de même que ce frottement ou cette adhérence, au lieu de l'y faire monter, devroit l'en empêcher.

352. La troisième classe comprend les opinions de ceux qui supposent que le tuyau, ayant plus de masse ou de densité que la liqueur, l'attire plus puissamment qu'elle ne s'attire elle-même : voilà pourquoi, disent-ils, le mercure se tient dans les tuyaux capillaires au-dessous de son niveau (348), parce qu'il s'attire plus puissamment lui-même, qu'il n'est

attiré par les tuyaux qui ont moins de densité que lui. Mais sur quoi est fondé cette supposition ? suivant quelles loix agit cette attraction ? Si ces loix étoient les mêmes que celles de l'attraction générale, développées par *Newton*, 1°. les liqueurs devroient toujonrs être attirées en raison inverse de leurs masses ; c'est-à-dire, que les moins denses, devroient être plus fortement attirées que les plus denses, et par conséquent s'élever à une plus grande hauteur : or, c'est souvent le contraire ; car il y a des liqueurs plus denses, qui s'élèvent beaucoup plus haut que d'autres liqueurs moins denses (346) ; 2°. l'attraction des tuyaux devroit être proportionnelle à leur masse : or, cela n'est pas ; car, de quelque matière que soient faits plusieurs tuyaux, pourvu que le diamètre intérieur soit le même dans tous, la même liqueur s'y élèvera à la même hauteur ; 3°. les liqueurs devroient se tenir au-dessous de leur niveau, dans des tuyaux faites d'une matière moins dense qu'elles ; car alors, suivant les loix de l'attraction, elles s'attireroient plus puissamment elles-mêmes, qu'elles ne seroient attirées par les tuyaux. Or, le contraire arrive chaque jour. Les corps poreux, et qu'on doit regarder comme des assemblages de tuyaux capillaires, admettent dans leurs pores et élèvent au-dessus de leur niveau, des liqueurs plus denses qu'eux-mêmes. De plus, le mercure, qui se tient au-dessous de son niveau dans un tuyau de verre (348), parce que le verre a, dit-on, une densité moindre que la sienne, devroit, par la même raison, se tenir au-dessous de son niveau dans un tuyau d'étain, qui n'a guère que la moitié de la densité du mercure. Or, le contraire arrive, comme je l'ai éprouvé moi-même. Ayant plongé dans du mer-

cure un petit tuyau d'étain, d'environ un demi-millimètre de diamètre, j'ai vu le mercure s'y élever pour le moins jusqu'à son niveau. Je suis persuadé qu'il s'élèveroit de même dans un tuyau d'or, d'argent, ou de plomb. Il paroît donc qu'en général les liqueurs s'élèvent au-dessus de leur niveau, dans les tuyaux qu'elles peuvent mouiller, ou auxquels elles peuvent adhérer : voilà une des raisons pour lesquelles le mercure se tient au-dessous de son niveau dans les tuyaux de verre, auxquels il n'adhère point.

353. Est-ce que l'attraction, qu'on prétend être la cause des phénomènes des tuyaux capillaires, suivroit, sinon la raison des masses, du moins la raison des surfaces? L'expérience prouve que non. Car elle nous apprend que les liqueurs s'élèvent dans les tuyaux capillaires en raison inverse de leurs diamètres (347); c'est-à dire que, si la colonne de liqueur élevée au-dessus de son niveau est de 30 millimètres de haut, dans un tuyau de 2 millimètres de diamètre, elle sera de 60 millimètres de haut dans un tuyau d'un millimètre, et ainsi des autres. Par conséquent la surface intérieure du tuyau, touchée par la liqueur, est dans tous de la même étendue, puisque les circonférences sont en raison directe des diamètres. Cependant la quantité de liqueur élevée au-dessus de son niveau est, comme on le voit clairement, plus considérable dans les gros tuyaux que dans les petits, puisque les solidités sont comme les quarrés des diamètres. La force attractive n'est donc pas proportionnelle à l'étendue des surfaces attirantes; ce qui devroit pourtant être : ou bien il faudroit dire que la même cause ne produit pas constamment le même effet; ce qu'on ne peut pas admettre.

354. *Jurin* (*Trans. Phil. n°. 363, art. 2*), d'après des expériences, à la vérité très-ingénieuses, mais qui, de son aveu même, ne sont point du tout concluantes, a cependant cru pouvoir conclure que l'attraction du tuyau n'agit que par le cercle annulaire de la surface intérieure où se termine la colonne de liqueur. Voici ses expériences.

EXPÉRIENCES. Il a fait souder l'un à l'autre deux tuyaux capillaires A D et C B (*fig.* 48), dont le diamètre de l'un C B étoit beaucoup plus grand que celui de l'autre A D. Supposons que dans le gros l'eau ne put s'élever que de 12 millimètres au-dessus de son niveau, et de 48 millimètres dans le petit. Il a plongé dans l'eau le tuyau A B par le gros bout B, mais assez profondément pour faire arriver l'eau jusqu'en D, c'est-à-dire, de 5 ou 6 millimètres dans le petit diamètre : alors il a pu relever le tuyau de 48 millimètres hors de l'eau, sans que l'eau retombe, quoique la très-grande partie de cette colonne de 48 millimètres fût dans le gros tuyau. Ensuite il a plongé le même tuyau par le petit bout G, de manière à faire arriver l'eau jusqu'en F, c'est-à-dire, d'environ 4 ou 5 millimètres dans le gros diamètre : alors il n'a pu relever le tuyau de plus de 12 millimètres hors de l'eau, sans que l'eau retombât, quoique la plus grande partie de cette colonne de 12 millimètres fût dans le petit diamètre. D'où *Jurin* conclut que l'élévation de la liqueur ne dépend que de l'attraction du cercle annulaire de la surface intérieure du tuyau, où se termine la colonne de liqueur, puisque cette élévation change avec le diamètre de cet anneau.

355. *Jurin*, ne tendant qu'à la connoissance de

la vérité, ne dissimule rien de ce qui peut infirmer son opinion. L'expérience précédente (354) peut être faite de manière qu'elle prouve trop, et qu'elle devienne elle-même un nouveau phénomène, qui exige une nouvelle explication.

Expérience. Au lieu du tuyau AB (*fig.* 48), il emploie un entonnoir IKL (*fig.* 49), qui peut avoir plusieurs centimètres de largeur, et qui est terminé par un tuyau capillaire H; supposons encore que ce tuyau capillaire soit d'un diamètre tel, que l'eau puisse s'y élever de 48 millimètres au-dessus de son niveau. Si l'on plonge cet entonnoir renversé assez profondément pour que l'eau arrive dans le tuyau capillaire H, on pourra alors soulever l'entonnoir d'environ 48 millimètres hors de l'eau, sans que l'eau retombe. Si l'attraction du cercle annulaire soutient la colonne HI, quelle est la cause qui soutient la grande quantité d'eau qui environne cette colonne? On a répondu que cette masse d'eau étoit soutenue par l'attraction et l'adhérence de la partie concave LK de l'entonnoir.

356. Mais *Jurin* détruit encore cette explication par une nouvelle expérience.

Expérience. Il s'est servi d'un entonnoir qui avoit la forme de celui de la *fig.* 50, et qui étoit aussi terminé par un tuyau capillaire. Il l'a plongé, mais de manière à ne le remplir que jusqu'à quelques millimètres de la partie concave : ensuite, avec le bout du doigt mouillé, il a introduit une goutte d'eau dans le tuyau capillaire. Alors il a soulevé hors de l'eau une partie de l'entonnoir, telle qu'il y avoit au-dessus du niveau une colonne d'une hauteur égale à celle qu'auroit pu soutenir un tuyau capillaire du même dia-

mètre que celui qui terminoit l'entonnoir. On ne peut pas dire, en pareil cas, que c'est l'adhérence de la partie concave de l'entonnoir qui soutient la colonne, puisqu'il n'y a pas de contact.

357. Si nous voulons être de bonne-foi, nous avouerons ingénûment que nous ne sommes pas encore assez instruits sur les causes (car il y en a peut-être plusieurs qui agissent ensemble) de l'ascension des liqueurs au-dessus de leur niveau dans les tuyaux capillaires. Mais ce sont des faits constans qui peuvent servir à en expliquer d'autres; comme la pesanteur, dont la vraie cause ne nous est pas bien connue, sert à expliquer beaucoup de phénomènes. L'élévation des liqueurs dans les tuyaux capillaires m'explique pourquoi une bûche debout se trouve humide jusqu'au haut, quoiqu'elle ne soit qu'en partie plongée dans l'eau. Cela m'explique comment la séve s'élève depuis les racines jusqu'aux extrémités des branches d'un arbre. Dans l'un et l'autre, il y a une grande quantité de tuyaux capillaires. Le corps humain, ainsi que celui des animaux, est une machine hydraulique; et dans le nombre presque infini de tuyaux qui le composent, celui des capillaires est sans comparaison le plus grand. Il n'est donc pas étonnant que les fluides passent si promptement et si aisément d'un endroit à l'autre. Il y a une grande quantité d'autres phénomènes, qui ne sont que des dépendances de ceux des tuyaux capillaires.

De l'Hydraulique, ou des Mouvemens des Fluides.

358. On appelle *hydraulique*, la science qui a pour objet les mouvemens des fluides. C'est d'après les principes sur lesquels est fondée cette science, qu'on trouve les moyens de conduire les eaux d'un lieu à un autre, par des canaux, des aqueducs, des pompes et autres machines hydrauliques, et de les élever, tant pour les rendre jaillissantes, que pour d'autres usages.

Ce que nous allons dire dans ce chapitre, est en grande partie extrait de l'*hydrodynamique* de *l'abbé Bossut*, ouvrage dans lequel il a rendu compte d'une très-belle suite d'expériences qu'il a faites sur cette matière, et qui sont bien propres à guider dans la pratique. Ce sont les résultats de ces expériences que nous allons donner ici.

Écoulemens des Fluides ou Liqueurs par de petits orifices.

359. Lorsque l'eau s'écoule d'un vase percé à son fond d'un orifice qui soit petit en comparaison de la largeur du vase; 1°. l'eau descend verticalement, et la surface paroît plane; mais à 3 ou 4 pouces (environ 1 décimètre) du fond, les particules se détournent de cette direction, et viennent de tous côtés, suivant des mouvemens plus ou moins obliques, gagner l'orifice. Il en est de même lorsque l'eau sort par une ouverture latérale. La tendance de ces particules vers l'orifice est une suite nécessaire de leur parfaite mobilité; car elles doivent se diriger vers le point qui résiste le moins aux forces qui les pressent:

or

or l'endroit de l'orifice est ce point de moindre résistance.

360. 2°. A une petite distance du fond, il commence à se former un entonnoir, dont la pointe répond au centre de l'orifice. Lorsque l'eau sort par une ouverture latérale, il ne se forme qu'une espèce de demi-entonnoir, et qui ne paroit commencer que quand la surface est près de toucher le bord supérieur du trou. Il est probable que l'entonnoir commence à se former dès le premier moment de l'écoulement; mais il ne devient sensible que lorsque la surface est à une petite distance du fond; parce que, lorsque cette surface en est loin, les parties inférieures pressées par les supérieures, sont portées rapidement dans la direction de l'écoulement. La vraie cause de la formation de l'entonnoir est l'inégalité de pression de la part de l'air au-dessus et au-dessous de l'orifice; parce que l'eau, en tombant par cet orifice, repousse l'air, et détruit une partie de sa réaction.

Il paroît que l'entonnoir commence à une hauteur d'autant plus grande au-dessus du fond, que le fond est plus large; et que la formation de l'entonnoir est moins prompte ou moins sensible, à mesure que l'orifice augmente comparativement à l'étendue du fond. L'aspérité plus ou moins grande du fond et des parois du vase contribue aussi à augmenter plus ou moins l'entonnoir.

361. La vîtesse de l'eau, à sa sortie d'un vase par un petit orifice percé à son fond, est égale à celle qu'acquerroit un corps grave en tombant de la hauteur verticale de la surface du fluide au-dessus de l'orifice (255); et cette vîtesse est égale au double de cette hauteur.

362. La même chose a lieu pour un orifice latéral; car la pression du fluide est égale (à même profondeur) en toutes sortes de sens (288), et doit par conséquent produire la même vîtesse.

363. La liqueur, au sortir de l'orifice, a une vîtesse capable de la faire remonter à une hauteur verticale égale à celle de la surface du fluide au-dessus de l'orifice : de même qu'un corps, en tombant par sa pesanteur d'une certaine hauteur, acquiert une vîtesse capable de le faire remonter à cette hauteur (255).

364. On voit de même, par la théorie de la chûte des graves (217), que, si la vîtesse de la liqueur, au sortir de l'orifice, étoit continuée uniformément, la liqueur parcourroit un espace double de la hauteur de la liqueur au-dessus de l'orifice, pendant le même temps qu'un corps pesant emploieroit à tomber de cette hauteur.

365. Cette hauteur étant la même, la vîtesse du fluide, au sortir de l'orifice, sera toujours la même, quelle que soit l'espèce du fluide, et quelle que soit sa densité, puisqu'elle a constamment pour valeur la vîtesse due à cette hauteur. Il est bien vrai que lorsque la liqueur a plus de densité, elle presse davantage; mais aussi la masse chassée est plus considérable. En général, il est évident que, lorsque les forces motrices sont proportionnelles aux masses qu'elles mettent en mouvement, les vîtesses sont égales.

366. Les quantités de liqueur qui sortent dans le même temps par des orifices différens, chacune sous des hauteurs ou charges constantes (en supposant par conséquent que les vases sont entretenus également pleins

pendant toute la durée de l'écoulement), sont entre elles comme *les produits des aires des orifices par les racines quarrées des hauteurs*. Par exemple, l'expérience a appris qu'un orifice circulaire de 1 pouce (27,07 m.mt.) de diamètre, percé dans une mince paroi, sous 4 pieds (1299,36 m.mt.) de charge, fournit dans 1 minute de temps 5436 pouces cubes (107 décimètres cubes 830 centimètres cubes 532 millimètres cubes) d'eau. Si l'on veut savoir ce que fournira, dans le même temps, un orifice circulaire de 2 pouces (54,140 m.mt.) de diamètre, sous 9 pieds (2923,554 m.mt.) de charge, on fera la proportion suivante $1 \times \sqrt{4} : 4 \times \sqrt{9} :: 5436 : x = 32616$; ou $2 : 12 :: 5436 : 32616$. C'est cette dernière quantité de pouces cubes d'eau que fournira l'orifice de deux pouces de diamètre sous neuf pieds de charge; et cette quantité est égale à 646 décimètres cubes 983 centimètres cubes 193 millimètres cubes. Il faut observer qu'un orifice d'un diamètre double est quatre fois aussi grand qu'un orifice d'un diamètre simple; parce que les aires des cercles sont comme les quarrés des diamètres.

367. Si l'on remplit d'eau un vase prismatique, et qu'on lui permette de se vider entièrement par un orifice fait à son fond, et qu'on mesure le temps qu'il met à se vider; qu'ensuite l'ayant rempli de nouveau, on l'entretienne constamment plein, tandis que l'eau sort par l'orifice, il sortira dans ce second cas, pendant le même intervalle de temps que le vase a mis d'abord à se vider entièrement, une quantité d'eau double de celle qui est sortie dans le premier cas,

abstraction faite de l'entonnoir (360), qui, dans ce second cas, n'a pas lieu.

368. Dans la pratique, les eaux sortent souvent par des ouvertures latérales, qui, quoique petites en comparaison des largeurs des réservoirs, ne peuvent cependant pas être censées avoir tous leurs points à égales distances de la surface du fluide. Tels sont, par exemple, les pertuis des moulins. Alors la méthode ordinaire est de déterminer l'écoulement d'après le raisonnement suivant. Concevons d'abord que l'orifice soit bouché par une plaque, et qu'ensuite on perce cette plaque d'un grand nombre de trous par lesquels l'eau s'échappe. En regardant chacun de ces trous comme un orifice particulier et isolé, la vîtesse pour chacun sera due à la hauteur correspondante du fluide. Donc, si l'on multiplie le nombre des trous à l'infini, ou, ce qui revient au même, si l'on imagine que la plaque entière soit ôtée, la vîtesse, en chacun des points de l'orifice proposé, sera due à la hauteur correspondante du fluide; et dans la détermination de la quantité d'eau écoulée, il faudra avoir égard à cette inégalité de vîtesse.

369. On ne peut cependant pas se dissimuler que ce raisonnement n'est pas bien concluant. Tant que la somme des petits trous percés dans la plaque substituée à l'orifice, est fort petite en comparaison de la largeur du réservoir, les portions de liqueurs qui sortent par chaque trou, sont chassées par les poids absolus des colonnes supérieures. Mais du moment que le nombre des trous augmente à l'infini, et que les filets deviennent contigus les uns aux autres, on ne voit pas clairement qu'ils doivent sortir de la même manière qu'ils sortiroient par de petits trous isolés.

Cependant, comme cette hypothèse donne des résultats assez conformes à l'expérience, il peut être utile de la conserver, d'autant plus qu'elle mène à des calculs fort simples, et que dans les questions usuelles, il faut rechercher cette simplicité autant qu'il est possible.

370. La quantité d'eau qui sort par ces orifices, dans un temps donné, n'est pas aussi grande que semble le promettre la grandeur de leur ouverture, parce que la veine fluide se contracte au sortir de l'orifice; et cela jusqu'à une distance qui égale à-peu-près la moitié du diamètre de l'orifice : et le diamètre de la veine contractée est au diamètre de l'orifice comme un peu plus de 3 à 4, ou comme $3\frac{1}{6}$ à 4, ou 19 à 24. De sorte que son aire est à celle de l'orifice comme 10 à 16. C'est à-peu-près la même chose lorsque l'eau s'écoule par des ouvertures latérales. La contraction de la veine fluide est une preuve de ce que nous avons dit ci-dessus (359), savoir, que dans l'intérieur du vase les particules latérales se dirigent vers l'orifice suivant des mouvemens plus ou moins obliques, et ce mouvement oblique peut se décomposer en deux autres; l'un parallèle au plan de l'orifice, et qui resserre la veine fluide; l'autre perpendiculaire au même plan, et le seul qui produise l'écoulement.

371. Cette contraction a lieu aussi quand on fait écouler l'eau par des tuyaux, et cela à l'entrée de l'eau dans ces tuyaux, et non pas à sa sortie, où la veine fluide conserve la forme cylindrique. L'on verra ci-après que cette contraction diminue, d'une manière sensible, les quantités d'eau que ces tuyaux devroient fournir naturellement.

372. Pour s'assurer de tout ces faits par des expériences, on en a fait un grand nombre, dont je ne donne ici que les résultats. Dans tous les cas, les orifices par lesquels s'est fait l'écoulement, étoient percés bien perpendiculairement dans des plaques de cuivre d'environ $\frac{1}{4}$ ligne (1 millimètre) d'épaisseur; et les temps des écoulemens, pour chaque expérience, sont réduits à 1 minute.

373. Hauteur constante de l'eau au-dessus du centre de chaque orifice = 11 pieds 8 pouces 10 lignes.	Nombre de pouces cubes fournis en 1 minute.
Expér. 1. Par un orifice horizontal et circulaire de 6 lignes de diamètre. .	2311
2. Par un orifice horizontal et circulaire de 1 pouce de diamètre. .	9281
3. Par un orifice horizontal et circulaire de 2 pouces de diamètre. .	37203
4. Par un orifice horizontal et rectangulaire de 1 pouce de long sur 3 lignes de large.	2933
5. Par un orifice horizontal et quarré de 1 pouce de côté.	11817
6. Par un orifice horizontal et quarré de 2 pouces de côté.	47361
Hauteur constante = 9 pieds.	
7. Par un orifice latéral et circulaire de 6 lignes de diamètre.	2018
8. Par un orifice latéral et circulaire de 1 pouce de diamètre.	8135
Hauteur constante = 4 pieds.	
9. Par un orifice latéral et circulaire de 6 lignes de diamètre.	1353
10. Par un orifice latéral et circulaire de 1 pouce de diamètre.	5436
Hauteur constante = 7 lignes.	
11. Par un orifice latéral et circulaire de 1 pouce de diamètre.	628

TABLEAU EN MESURES DÉCIMALES.

Hauteur constante de l'eau au-dessus du centre de chaque orifice = 3 mètres 811 millimètres.	Nombre de millimètres cubes fournis en 1 minute.
EXPÉR. 1. Par un orifice horizontal et circulaire de 13,535 (m.mt.) de diamètre.	45841862
2. Par un orifice horizontal et circulaire de 27,070 (m.mt.) de diamètre. . .	184101393
3. Par un orifice horizontal et circulaire de 54,140 (m.mt.) de diamètre. . .	737972643
4. Par un orifice horizontal et rectangulaire de 27,070 (m.mt.) de long sur 6,767 (m.mt.) de large.	58180087
5. Par un orifice horizontal et quarré de 27,070 (m.mt.) de côté.	234406438
6. Par un orifice horizontal et quarré de 54,140 (m.mt.) de côté.	939470536
Hauteur constante = 2 *mètres* 924 *millimètres.*	
7. Par un orifice latéral et circulaire de 13,535 (m.mt.) de diamètre.	40029804
8. Par un orifice latéral et circulaire de 27,070 (m.mt.) de diamètre.	161368907
Hauteur constante = 1 *mètre* 299 *millimètres.*	
9. Par un orifice latéral et circulaire de 13,535 (m.mt.) de diamètre.	26838615
10. Par un orifice latéral et circulaire de 27,070 (m.mt.) de diamètre.	107830532
Hauteur constante = 15,791 (m.mt.)	
11. Par un orifice latéral et circulaire de 27,070 (m.mt.) de diamètre.	12457243
	litres. m.mt.c.

374. Il suit de ces expériences, 1°. que *les dépenses d'eau faites en temps égaux par différens orifices sous une même hauteur de réservoir, sont entr'elles, à peu de choses près, comme les aires de ces orifices.* Comparez ensemble les résultats de la 2e et de la 3e expérience, dont les aires des orifices sont dans le rapport de 1 à 4; et vous trouverez que les deux dépenses, 9281 pouces cubes (184101392 millimètres cubes) et 37205 pouces cubes (737972643 millimètres cubes) sont, à peu de chose près, dans le même rapport:

375. 2°. Que *les dépenses d'eau faites en temps égaux par une même ouverture, sous différentes hauteurs de réservoirs, sont entr'elles, à peu de chose près, comme les racines quarrées des hauteurs correspondantes de l'eau dans le réservoir au-dessus des centres des mêmes ouvertures.* Comparez ensemble les résultats des 8e et 10e expériences, où les hauteurs des réservoirs sont 9 pieds (2 mètres 924 millimètres) et 4 pieds (1 mètre 299 millimètres), dont les racines quarrées sont 3 et 2; et vous trouverez que les deux dépenses, 8135 pouces cubes (161368907 millimètres cubes) et 5436 pouces cubes (107850532 millimètres cubes) que fait un même orifice de 1 pouce (27,070 m mt.) de diamètre, sous 9 pieds (2 mètres 924 millimètres) et ensuite, 4 pieds (1 mètre 299 millimètres) de charge, sont entr'elles sensiblement dans le rapport de 3 à 2:

376. 3°. Qu'en général *les quantités d'eau dépensées, pendant le même temps, par différentes ouvertures, sous différentes hauteurs de réservoirs, sont entr'elles en raison composée des aires des ouvertures et des racines quarrées des hauteurs des réservoirs:*

377. 4°. Mais que *le frottement est cause que, de plusieurs orifices de figures semblables, les petits fournissent moins à proportion que les grands, sous une même hauteur d'eau dans le réservoir.* Parce que, comparativement à l'étendue de l'aire de chaque orifice, il y a plus de points frottans contre les bords de l'orifice dans les petits, qu'il n'y en a dans les grands; car les circonférences ne diminuent pas autant que les aires :

378. 5°. Que *de plusieurs orifices d'aires égales, celui dont le périmètre est le moindre, doit, à cause du frottement, fournir plus d'eau que les autres, sous une même hauteur de réservoir.* Ainsi les orifices circulaires sont, à cet égard, les plus avantageux de tous; car la circonférences du cercle est la plus courte de toutes les lignes qu'on peut choisir pour renfermer un espace donné. Il y a donc moins de surface frottante relativement à la grandeur de l'aire.

379. Il est aisé de voir que ces quantités d'eau dépensées dans les expériences ci-dessus (373), ne sont pas, à beaucoup près, aussi grandes qu'elles devroient l'être, vu l'étendue des aires des ouvertures, et les hauteurs des réservoirs : le frottement, et surtout la contraction de la veine fluide (370) diminuent beaucoup la dépense; car la vîtesse qui est due à la hauteur entière du fluide dans le réservoir, n'est pas sensiblement altérée. La différence de ces dépenses d'eau, en supposant, 1°. que l'aire de la veine fluide est la même que celle de l'orifice; 2°. que cette veine est contractée; cette différence, dis-je, est à-peu-près comme de 16 à 10; c'est-à-dire, qu'en supposant l'aire de l'orifice diminuée dans le rapport de 16 à 10 (370), on pourra déterminer assez exactement

les écoulemens des fluides qui sortent de vases entretenus également pleins. Nous donnerons ci-après (397) une table de ces différences.

380. On appelle un *pouce d'eau*, la quantité qu'en fournit un orifice circulaire et latéral de 1 pouce (m. mt. 27,070) de diamètre; la surface de l'eau étant entretenue constamment à 7 lignes (m. mt. 15,791) au-dessus du centre de cet orifice. C'est le cas de la onzième expérience, où l'on voit que la quantité d'eau fournie est 628 pouces cubes (12457243 millimètres cubes) qui font 13 $\frac{1}{11}$ pintes (près de 12 $\frac{1}{2}$ litres), chaque pinte contenant 48 pouces cubes, puisqu'il y a 56 pintes au pied cube : (chaque litre contient 1000000 millimètres cubes.) *Mariotte*, qui a fait la même expérience, a trouvé la dépense un peu plus forte; mais il est probable qu'il s'y est glissé quelque erreur; car la onzième expérience que je viens de citer, a été faite avec le plus grand soin. Une pinte d'eau, au lieu de peser 2 livres (979012 milligrammes), comme on le croit communément, ne pèse que 1 livre 15 onces 0 gros 48 grains (950967 milligrammes).

Ecoulemens des Fluides ou Liqueurs par des tuyaux additionnels.

381. Lorsqu'au lieu de faire sortir l'eau d'un vase par un orifice percé dans une mince parroi, on la fait sortir par un bout de tuyau vertical additionnel, de même diamètre que l'orifice, la dépense de l'eau est plus considérable, parce que la contraction de la veine fluide (370) est plus grande dans le premier cas que dans le second, comme cela va être prouvé par expérience.

382. La hauteur constante de l'eau dans le réservoir, au dessus de la base supérieure du tuyau additionnel vertical, est de 11 pieds 8 pouces 10 lignes (3 mètres 812 millimètres), et le diamètre du tuyau est de 1 pouce ($\overset{\text{m. mt.}}{27,070}$).

383 Hauteurs variables du tuyau exprimées en lignes.			Nombre de pouces cubes d'eau dépensés en une minute.
Expér. 1.	48 lig.	L'eau sortant à plein tuyau.	12274
2.	24		12188
3.	18		12168
4.	18	L'eau ne suivant pas les parois.	9282

TABLEAU EN MESURES DÉCIMALES.

Hauteurs variables du tuyau exprimées en millimètres.			Nombre de millimètres cubes d'eau dépensés en 1 minute.
Expér. 1.	108	L'eau sortant à plein tuyau.	243471661
2.	54		241765735
3.	41		241369006
4.	41	L'eau ne suivant pas les parois.	184121229 (millimèt. libre.)

384. On voit que plus ce tuyau vertical est long, plus la dépense est grande, parce que la contraction de la veine fluide est moindre; comme on le voit en comparant les trois premières expériences : mais il y

en a toujours une, quoique l'eau paroisse sortir à plein tuyau.

385. En comparant les quantités d'eau dépensées dans la troisième et la quatrième expérience, on voit que les deux dépenses, 12168 pouces cubes (241369006 millimètres cubes), et 9282 pouces cubes (184121229 millimètres cubes), sont entr'elles à-peu-près, dans le rapport de 13 à 10. Or nous avons vu ci-dessus (370) que l'eau sortant par un orifice percé dans une mince paroi, si la veine fluide ne sa contractoit point, la dépense par cet orifice seroit à la dépense par ce même orifice, la veine se contractant, environ comme 16 est à 10. On doit donc conclure de là, que *la hauteur de l'eau dans le réservoir et l'orifice de sortie étant les mêmes, la dépense par un orifice percé dans une mince paroi, et dans lequel il n'y auroit pas de contraction de veine, la dépense par un bout de tuyau additionnel, et la dépense par un orifice percé dans une mince paroi, et dans lequel il y a contraction de veine, sont entr'elles, à peu de chose près, comme les trois nombres* 16, 13, 10. Ces rapports sont assez exacts pour la pratique.

386. Ceci prouve que les tuyaux additionnels ne détruisent qu'en partie la contraction de la veine fluide. La plus sensible de toutes, et que, par cette raison, on appelle *contraction de la première espèce*, est celle qui a lieu au sortir d'un petit orifice percé dans une mince paroi d'un grand réservoir.

387. Si le tuyau additionnel, au lieu d'être vertical ou placé au fond du réservoir, étoit horizontal ou placé sur le côté du réservoir, il donneroit la même quantité d'eau, pourvu qu'il eût toujours la même longueur, et que l'orifice extérieur fût placé à

la même profondeur au-dessous de la surface de l'eau dans le réservoir.

388. Si le tuyau additionnel, au lieu d'être cylindrique, étoit conique, ayant sa plus grande base du côté du réservoir, il fourniroit une plus grande quantité d'eau. La forme la plus avantageuse qu'on peut lui donner, pour avoir la plus grande quantité d'eau dans un temps donné, par un orifice déterminé, est celle que prend naturellement le veine fluide à la sortie d'un orifice percé dans une mince paroi. C'est-à-dire, qu'il faut donner à ce tuyau la forme d'un cône tronqué, dont la petite base ait pour diamètre celui de l'orifice par lequel on desire que se fasse l'écoulement. Il faut de plus que l'aire de la petite base soit à l'aire de la grande, comme 10 est à 16; et que la distance d'une base à l'autre soit à-peu-près égale au demi-diamètre de la grande base. Le reste de la longueur du tuyau peut être cylindrique ou prismatique. Alors l'écoulement sera aussi abondant que celui qui auroit lieu par un orifice égal à la petite base, percé dans une mince paroi, et dans lequel la veine fluide ne souffriroit aucune contraction.

389. Cette forme peut avoir son application à la pratique, lorsqu'il s'agit de dériver une certaine quantité d'eau d'une rivière, d'un aqueduc, etc. par un canal ou tuyau latéral.

390. Si l'on compare maintenant les écoulemens faits par des tuyaux additionnels de différens diamètres et sous différentes hauteurs de réservoirs, on a les résultats suivans; les tuyaux additionnels ayant 2 pouces ($54{,}140^{\text{m.mt.}}$) de long, et étant verticaux, ou placés au fond du réservoir.

391. Hauteurs constantes de l'eau au-dessus de l'orifice.	Diamètres des tuyaux exprimés en lignes.	Nombre de pouces cubes fournis pendant une minute.
Expér. 1.	6 10 L'eau sortant à plein tuyau.	1689
2.		4703
3. 5 pieds 10 pouces ou 552 lignes.	6 10 L'eau ne suivant pas les parois.	1293
4.		3598
5.	6 10 L'eau sortant à plein tuyau.	1222
6.		3402
7. 2 pieds ou 288 lignes.	6 10 L'eau ne suivant pas les parois.	935
8.		2603

TABLEAU EN MESURES DÉCIMALES.

Hauteurs constantes de l'eau au-dessus de l'orifice.	Diamètres des tuyaux exprimés en millimètres.	Nombre de millimètres cubes d'eau fournis pendant une minute.
Expér. 1 mètre 245 millimètres.		
L'eau sortant à plein tuyau.		
1.	13,535	33503637
2.	22,558	93290470
L'eau ne suivant pas les parois.		
3.	13,535	25648432
4.	22,558	71371276
650 millimètres.		
L'eau sortant à plein tuyau.		
5.	13,535	24240050
6.	22,558	67483346
L'eau ne suivant pas les parois.		
7.	13,535	18547010
8.	22,558	51634083

litres. m.m.c.

392. Il résulte de ces expériences, 1°. que *les dépenses par différens tuyaux additionnels, sous une même hauteur d'eau dans le réservoir, sont sensiblement proportionnelles aux aires des orifices ou aux quarrés de leurs diamètres :*

393. 2°. Que *les dépenses par des tuyaux additionnels de même diamètre, sous différentes hauteurs d'eau dans le réservoir, sont sensiblement proportionnelles aux racines quarrées des hauteurs des réservoirs :*

394. 3°. Qu'en général, *les dépenses faites, pendant le même temps, par différens tuyaux additionnels, sous différentes hauteurs d'eau dans le réservoir, sont entr'elles, à peu de chose près, comme les produits des quarrés des diamètres des tuyaux par les racines quarrées des hauteurs des réservoirs.*

395. On voit par-là que les écoulemens par des tuyaux additionnels suivent entr'eux les mêmes loix que ceux qui se font par des orifices percés dans de minces parois (374 *et suiv.*)

396. D'après toutes ces expériences, on peut former la table suivante des dépenses d'eau, par un orifice donné percé dans une mince paroi, en supposant que la veine fluide ne souffrît aucune contraction ; ou par le même orifice, avec contraction de veine ; ou par le même orifice garni d'un tuyau additionnel.

Des

397. Hauteurs constantes de l'eau dans le réservoir au-dessus de l'orifice, exprimées en pieds.	Dépenses d'eau pendant une minute, par un orifice de 1 pouce de diamètre, sans contraction de veine, exprimées en pouces cubes.	Dépenses d'eau pendant une minute, par un tuyau additionnel de 1 pouce de diamètre et 2 pouces de long, exprimées en pouces cubes.	Dépenses d'eau pendant une minute, par un orifice de 1 pouce de diamètre, avec contraction de veine, exprimées en pouces cubes.
1	4381	3539	2722
2	6169	5002	3846
3	7589	6126	4710
4	8763	7070	5436
5	9797	7900	6075
6	10732	8654	6654
7	11592	9340	7183
8	12392	9975	7672
9	13144	10579	8135
10	13855	11151	8574
11	14530	11693	8990
12	15180	12205	9384
13	15797	12699	9764
14	16393	13197	10130
15	16968	13620	10472

TABLEAU EN MESURES DÉCIMALES.

Hauteurs constantes de l'eau dans le réservoir au-dessus de l'orifice, exprimées en millimètres.	Dépenses d'eau pendant une minute par un orifice de 27,061 millimètres de diamètre, sans contraction de veine, exprimées en millimètres cubes.	Dépenses d'eau pendant une minute par un tuyau additionnel de 27,061 millimètre de diamètre et 54,122 m.mt. de long, exprimées en millim. cubes.	Dépenses d'eau pendant une minute par un orifice de 27,061 millimètres de diamètre, avec contraction de veine, exprimées en millimètres cubes.
m.mt.	m.mt.c.	m.mt.c.	m.mt.c.
324,839	86903157	70200930	53994612
649,679	122370595	99221546	76290697
974,518	150538247	121517631	93429324
1299,358	173826150	140243168	107830532
1624,197	194336962	156707359	120505976
1949,036	212883972	171663986	131991236
2273,876	229943254	185271739	142484679
2598,715	245812354	197867836	152184666
2923,554	260729307	209849007	161368907
3248,394	274852970	221195413	170077076
3573,233	288222523	231946728	178329007
3898,073	301116166	242102952	186144539
4222,912	313355209	251902121	193682361
4547,751	325177688	261780635	200942474
4872,590	336583604	270171422	207726515
m.mt.	litres. m.mt.c.	litres. m.mt.c.	litres. m.mt.c.

Des Jets d'eau.

398. Quelle que soit la direction d'un jet, la dépense d'eau qu'il fait est toujours la même, pourvu que l'ajutage et la hauteur du réservoir au-dessus de l'ajutage soient les mêmes. Cela est une suite nécessaire de la pression égale des fluides en tous sens (268).

399. L'eau, au sortir d'un ajutage quelconque très-petit, a une vîtesse capable de la faire remonter

à la hauteur de la surface de l'eau dans le réservoir (363) : ainsi les jets verticaux s'élèveroient, si rien ne les en empêchoit, à la hauteur entière de leurs réservoirs.

Plusieurs causes concourent à diminuer l'élévation des jets verticaux : 1°. le frottement dans les tuyaux depuis le réservoir jusqu'à l'ajutage (434); 2°. le frottement contre le circuit de l'orifice; 3°. la résistance que l'air oppose au mouvement de la colonne; 4°. le poids des particules d'eau, qui, en montant, ont perdu toute leur vîtesse, et qui retombent sur celles qui montent encore. Car en inclinant un peu le jet, il s'élève un peu plus haut que quand il est exactement vertical. Mais, dans ce cas là, il ne produiroit pas un effet aussi agréable aux yeux que lorsque la gerbe retombe perpendiculairement sur elle-même.

400. Lorsque l'ajutage se dirige obliquement à l'horizon, la force de projection et la pesanteur de l'eau font que le jet décrit sensiblement une parabole (275), dont l'amplitude est d'autant plus grande, que la hauteur du réservoir est plus considérable; car elle y est proportionnelle.

401. Lorsque l'ajutage se dirige horizontalement, le jet décrit une demi-parabole.

402. Les jets d'eau s'élèvent d'autant plus haut, que les ouvertures des ajutages sont plus grandes, parce que de deux jets d'eau qui, venant du même réservoir, sortent de leurs ajutages avec des vîtesses égales, le plus gros, 1°. éprouve moins de frottemens; 2°. a plus de masse, et par conséquent plus de force pour vaincre les obstacles. Mais quoique les gros jets s'élèvent plus haut que les petits, ils ne

dépensent cependant pas plus d'eau à proportion que ces derniers ; car la dépense est comme le produit de l'ouverture de l'ajutage, par la vîtesse au sortir de l'ajutage (364) ; et cette vîtesse est sensiblement la même pour l'un et pour l'autre, abstraction faite des frottemens.

403. Pour que les gros jets s'élèvent plus haut que les petits, il faut cependant que les tuyaux de conduite soient assez gros pour fournir les eaux avec une abondance suffisante ; car s'ils sont fort étroits, l'expérience prouve que les petits jets s'élèvent plus que les gros. Il faut donc que le diamètre du tuyau de conduite ait une certaine grandeur par rapport à celle de l'ajutage, pour que le jet s'élève à la plus grande hauteur où il puisse atteindre. Si donc l'on compare deux jets d'eau différens, et que l'on veuille que chacun s'élève à sa plus grande hauteur, il faut que *les quarrés des diamètres des tuyaux de conduite soient entr'eux en raison composée des quarrés des diamètres des ajutages et des racines quarrées des hauteurs des réservoirs.* Ainsi, si l'on connoît par expérience le diamètre que doit avoir un tuyau de conduite, pour fournir à la dépense d'un ajutage donné, sous une hauteur donnée de réservoir, on déterminera le diamètre de tout autre tuyau, pour fournir à un autre adjutage donné, sous une hauteur donnée de réservoir.

404. L'expérienc a appris que, pour un ajutage de 6 lignes (13,535 m.mt.) de diamètre, et sous une hauteur de réservoir de 52 pieds (16891,648 m. mt.), le diamètre du tuyau de conduite doit être d'environ 39 lignes

(87,977); et que, pour un ajutage de 6 lignes (13,535), de diamètre, et sous une hauteur de réservoir de 16 pieds (5197,430), le diamètre du tuyau de conduite doit être d'environ 28 $\frac{1}{4}$ lignes (64,291). Il n'y a aucun inconvénient à donner au tuyau de conduite un diamètre plus grand que ne l'exige la règle ci-dessus; et il y en auroit un à lui en donner un plus petit.

405. On fait quelquefois les ajutages en forme de cônes ou de cylindres : on a tort. Les ajutages cylindriques sont les plus désavantageux de tous. Les ajutages qui procurent le plus d'élévation aux jets sont ceux qui sont percés dans la platine horizontale qui ferme l'extrémité du tuyau. Il faut que cette platine soit bien polie, mince, d'une épaisseur uniforme, et percée perpendiculairement.

406. Il résulte de la comparaison de plusieurs expériences faites sur les jets d'eau, que *les différences des hauteurs des jets verticaux, aux hauteurs de leurs réservoirs, sont entr'elles sensiblement comme les quarrés des hauteurs des jets.* Si donc l'on connoît par expérience la quantité dont il s'en faut qu'un jet s'élève à la hauteur de son réservoir, on connoîtra, par une simple proportion, la quantité dont il s'en faudra que tout autre jet de hauteur donnée s'élève à la hauteur de son réservoir. Si l'on veut connoître la hauteur du réservoir, on n'aura qu'à ajouter à la hauteur du jet la quantité trouvée par la proportion.

407. Lorsqu'on est obligé de couder les tuyaux de conduite, il faut éviter, autant qu'on peut, de les couder à angle droit; car le choc du courant, contre

ces sortes d'angles, détruit une partie de la vîtesse, et fatigue beaucoup le tuyau de conduite.

408. Nous ajoutons ici une table, pour faciliter l'application des principes que nous venons d'établir.

On trouve dans les deux premières colonnes les hauteurs des jets et les hauteurs correspondantes des réservoirs. La troisième colonne contient en pintes de Paris, dont 36 forment le pied cube, les dépenses pendant 1 minute par un ajutage de 6 lignes ($\overset{\text{m.mt.}}{13,535}$) de diamètre, relativement aux hauteurs de la seconde colonne. Connoissant les dépenses par un ajutage de 6 lignes ($\overset{\text{m.mt.}}{13,535}$), une simple proportion fera connoître les dépenses par tout autre ajutage sous même hauteur dans le réservoir; puisqu'il a été prouvé (374) que les dépenses sont alors entr'elles comme les aires des ajutages, ou comme les quarrés des diamètres de ces ajutages. Dans la quatrième colonne, on trouve les diamètres que doivent avoir les tuyaux de conduite pour un ajutage de 6 lignes ($\overset{\text{m.mt.}}{13,535}$) de diamètre, relativement aux hauteurs de la seconde colonne. On connoîtra les diamètres des tuyaux de conduite pour d'autres ajutages et d'autres hauteurs de réservoir, en suivant la règle établie ci-dessus (403).

Nota. Relativement aux deux dernières colonnes on a négligé les fractions dans le calcul.

409. Hauteurs des jets exprimées en pieds.	Hauteurs des réservoirs exprimées en pieds et pouc.	Dépenses en 1 minute par un ajutage de 6 lignes de diamètre, exprimées en pintes de Paris.	Diamètres des tuyaux de conduite relatifs aux 2e et 3e colonnes, exprimés en lignes.
pieds.	pieds. po.	pintes.	lignes.
5	5 1	32	21
10	10 4	45	26
15	15 9	56	28
20	21 4	65	31
25	27 1	73	33
30	33 0	81	35
35	39 1	88	36
40	45 4	95	37
45	51 9	101	38
50	58 4	108	39
55	65 1	114	40
60	72 0	120	41
65	79 1	125	42
70	86 4	131	43
75	93 9	136	44
80	101 4	142	45
85	109 1	147	46
90	117 0	152	47
95	125 1	158	48
100	133 4	163	49

TABLEAU EN MESURES DÉCIMALES.

Hauteurs des jets exprimées en millimètres.	Hauteurs des réservoirs exprimées en millimètres.	Dépenses d'eau en une minute par un ajutage de 13,535 millimèt. de diamètre, exprimées en litres.	Diamètres des tuyaux de conduite relatifs aux 2e et 3e colonnes, exprimés en millimètres
m.mt.	m.mt.	litres.	m.mt.
1624	1651	30	47
3248	3357	43	59
4873	5116	53	63
6497	6930	52	70
8121	8798	70	74
9745	10720	77	79
11369	12696	84	81
12994	14726	90	83
14618	16810	96	86
16242	18949	102	88
17866	21142	108	90
19490	23388	114	93
21115	25689	119	95
22739	28044	124	97
24363	30454	129	99
25987	32917	135	102
27611	35435	140	104
29236	38006	145	106
30860	40632	150	108
32484	43312	155	111
mètres. m.mt.	mètres. m.mt.	litres.	m.mt.

Des Pompes.

410. Les pompes sont des machines hydrauliques destinées à élever de l'eau. Elles sont composées de cylindres creux A B (*fig.* 51) ou E F (*fig.* 53) intérieurement bien alaisés, et d'un diamètre bien égal dans toute leur longueur, que l'on appelle *corps de pompe*, dans lesquels on fait glisser un bouchon I, appelé *piston*, que l'on met en jeu par le moyen d'une

tige de métal X x, à l'extrémité X de laquelle on adapte le moteur, à l'aide d'un levier X Y, ou de quelqu'autre machine : à cela on joint un tuyau montant A T (*fig.* 51), pour conduire l'eau à la hauteur qu'on desire; et enfin des clapets ou soupapes S, s.

411. Il y a plusieurs espèces de pompes. Les unes sont foulantes, les autres sont aspirantes : il y en a qui sont tout-à-la-fois aspirantes et foulantes.

412. Il y a deux manières de construire les pompes foulantes. Dans les unes (*fig.* 51), la colonne d'eau qu'on élève, repose sur le piston que l'on tire : dans les autres (*fig.* 52), la colonne d'eau résiste au piston que l'on pousse. Les premières peuvent être appelées *pompes foulantes soulevantes*; et les secondes, *pompes foulantes repoussantes*.

413. La pompe foulante soulevante (*fig.* 51) est composée d'un corps de pompe A B, à la partie inférieure duquel est placé un bout de tuyau B N, ouvert par le bas, ou mieux encore percé de trous dans toute sa longueur, de manière que les ordures grossières ne puissent arriver jusqu'au corps de pompe. A la réunion de ce bout de tuyau avec le corps de pompe, est une soupape s, qui, en se soulevant, permet à l'eau d'entrer dans le corps de pompe, mais qui ensuite, en s'abaissant, ne lui permet pas d'en sortir. Dans ce corps de pompe est un piston I, percé de part en part, garni dans sa partie supérieure d'une soupape S, et surmonté d'une fourchette x, par laquelle il est joint, au moyen d'une tête fendue comme celle d'un compas, à la tige x X qui le met en jeu, à l'aide du levier du premier genre (477) X Z Y, qui a son point d'appui en Z. A la partie supérieure A du

corps de pompe, est adapté le tuyau montant A T, qui a son tuyau de décharge en T. Cette pompe doit être assujettie d'une manière quelconque dans le puits ou bassin, de façon que le corps de pompe A B soit tout entier au-dessous de la surface de l'eau A A.

414. Maintenant, si l'on soulève le piston I en abaissant l'extrémité Y du levier Y Z X, de manière que ce levier se trouve dans la position $y Z u$, ce piston s'élèvera dans le corps de pompe A B d'une quantité égale à $X u$; pendant lequel temps, la soupape s se soulevant, l'eau passera du bassin dans la pompe, par la pression de l'eau extérieure (288). Que l'on abaisse ensuite le piston, cette pression fait fermer la soupape s et soulever la soupape S. Par-là, l'eau qui étoit au dessous du piston se trouve par-dessus, et presse la soupape S contre son trou; ce qui l'empêche de repasser par-dessous, lorsqu'on soulève de nouveau le piston. Un second coup de piston élèvera donc cette quantité d'eau, et permettra, par le même mécanisme, à une nouvelle quantité de passer dans la pompe, et ensuite au-dessus du piston, comme a fait la première: de sorte que, par un certain nombre de coups de piston, on parviendra à remplir le tuyau montant A T. Alors il sortira à chaque coup de piston, par le tuyau de décharge T, une masse d'eau égale à un cylindre qui aura pour base la largeur du piston, et pour longueur le chemin que le piston parcourra dans le corps de pompe. C'est ce chemin parcouru que l'on appelle *jeu du piston.*

415. Il est aisé de savoir quel est le poids de la colonne d'eau dont le piston est chargé, lorsque le tuyau montant est plein; et en conséquence quelle

est la force qu'il faut faire agir en Y pour faire jouer la pompe. Nous avons prouvé ci-dessus (294) que *les liqueurs pèsent en raison de leur hauteur perpendiculaire, et de la largeur de la base qui s'oppose à leur chûte.* Dans une pompe, cette base est le piston, et la hauteur perpendiculaire est celle du tuyau montant au-dessus de la surface de l'eau. Ainsi, quand le tuyau montant est plein, la charge sur le piston est égale au poids d'un cylindre d'eau qui auroit pour diamètre celui du piston; et pour hauteur, celle du tuyau montant au-dessus de la surface de l'eau, quel que soit le diamètre du tuyau montant : ce qui est aisé à calculer, lorsqu'on sait qu'un cylindre d'eau d'un pied de diamètre et d'un pied de haut pèse 55 livres; et que l'on sait aussi qu'un cylindre d'eau d'un décimètre de diamètre et d'un mètre de haut, pèse 7 kiliogrammes 848 grammes.

416. Il suit de là, qu'on ne diminue point le poids de la colonne d'eau, en diminuant le diamètre du tuyau montant. On augmente même par-là la résistance qu'il faut vaincre, à cause de l'augmentation des frottemens, qui sont plus considérables dans les petits tuyaux que dans les gros (105), parce que les surfaces relatives augmentent, comme les diamètres diminuent. Aussi, si ce n'étoit pas pour épargner la dépense, on auroit grand tort de faire, comme cela est cependant d'usage, les tuyaux montans plus petits que le corps de pompe. Il vaudroit mieux leur donner un diamètre un peu plus grand que celui du corps de pompe : alors la colonne d'eau qu'on élève glisseroit dans un tuyau d'eau, et n'éprouveroit par conséquent que des frottemens de la seconde espèce (97).

417. La pompe foulante repoussante est composée d'un corps de pompe C D (*fig.* 52), tout-à-fait fermé par le bas, entièrement ouvert par le haut, et dans lequel est un piston K, qui ne diffère de celui de la précédente pompe (413) qu'en ce que sa soupape S est placée à sa partie inférieure. Ce piston, ainsi que celui de la pompe précédente, se met en jeu à l'aide d'un levier Y X Z, mais du second genre (477), et qui a son point d'appui en Z. Son tuyau montant D O est placé à côté du corps de pompe, avec lequel il communique, et est garni d'une soupape *s* dans sa partie inférieure, et d'un tuyau de décharge O à sa partie supérieure. Cette pompe, ainsi que la précédente, doit être assujettie dans le puits ou bassin, de façon que le corps de pompe C D soit tout entier au-dessous de la surface de l'eau A A.

418. L'eau remplit le corps de pompe, en tombant par l'ouverture C et passant au travers du piston K, dont la soupape S, vu sa position, se trouve naturellement ouverte. Si l'on vient à abaisser le piston K, en amenant le levier Y X Z dans la situation *y u* Z, la résistance de l'eau contre la soupape S la ferme aussitôt. Cette eau ne pouvant donc pas repasser au-dessus du piston, est obligée d'enfiler le tuyau montant D O, en soulevant la soupape *s*. Sitôt qu'on relève le piston, la soupape *s* se ferme par la pression de l'eau qui est au-dessus; et la soupape S s'ouvre, en retombant par son propre poids. Il passe donc une nouvelle masse d'eau au-dessous du piston, qui, par un second abaissement du même piston, est contrainte de passer, comme la première, dans le tuyau montant. De sorte que, par un certain nombre de coups de piston, on parvient à remplir le tuyau

montant D O. Alors tout se passe comme dans la précédente pompe. Si dans l'une et dans l'autre le piston est de même diamètre, et si les tuyaux montans sont de la meme hauteur perpendiculaire, les poids des deux colonnes d'eau sont égaux, et ces deux pompes exigent la même force motrice pour être mises en jeu; car, dans ce cas-là, c'est la même chose, quant à cette force, ou qu'elle ait à élever le piston chargé de la colonne d'eau, ou qu'elle ait à pousser la colonne d'eau avec le piston.

419. La pompe aspirante (*fig.* 53) est composée d'un corps de pompe E F, ouvert par le haut, et à la partie inférieure duquel est adapté le tuyau d'aspiration F P. A la réunion de ce tuyau avec le corps de pompe, est une soupape *s*, destinée à permettre, en se soulevant, à l'eau d'entrer du tuyau d'aspiration P F dans le corps de pompe F E, et à l'empêcher, en s'abaissant, d'en sortir par la même voie. Dans le corps de pompe est un piston I, tout-à-fait pareil à celui (*fig.* 51) de la première espèce de pompe foulante, dont nous avons parlé ci-dessus (413), et qui se met en jeu de la même façon, et à l'aide d'un levier X Z Y (*fig.* 53) du même genre. Cette pompe doit être assujettie de façon qu'il n'y ait que l'extrémité inférieure du tuyau d'aspiration F P qui plonge dans l'eau.

420. Dans le moment de l'inaction de la pompe, les deux soupapes S et *s* sont naturellement fermées par leur propre poids. Si l'on vient à soulever le piston I, en amenant le levier X Z Y dans la situation *u* Z *y*, on soulève la colonne d'air qui repose dessus; et l'air qui est renfermé dans le tuyau d'aspiration, depuis la surface de l'eau *a* jusqu'au

piston, ayant alors plus de place à occuper, devient plus rare que l'air extérieur. Ce dernier presse donc avec avantage sur la surface de l'eau *a*, et l'oblige à monter dans le tuyau d'aspiration, jusqu'à ce que l'air intérieur ait repris sa première densité, en occupant moins de place. De sorte qu'après quelques coups de piston, l'eau arrive au corps de pompe, et passe au travers du piston, en soulevant les soupapes *s* et S l'une après l'autre; lequel piston, en s'élevant, oblige l'eau de s'échapper par le tuyau de décharge E.

421. Comme c'est la pression de l'air qui fait monter l'eau dans cette pompe, et que cette pression ne peut soutenir une colonne d'eau que d'environ 10 $\frac{1}{3}$ mètres (32 pieds) (301), il est clair que le tuyau d'aspiration ne doit pas avoir plus de longueur. Dans l'usage ordinaire, on ne lui donne pas même 10 $\frac{1}{3}$ mètres (32 pieds). Pour que la pression de l'air pût soutenir une colonne d'eau de cette hauteur, il faudroit, 1°. que la pompe aspirante fût faite avec la plus grande exactitude, et demeurât toujours telle; 2°. qu'elle fût placée au niveau de la mer, ou à-peu-près, parce que c'est là où la pression de l'air est la plus forte; 3°. que la pression de l'air ne variât point. Or, le plus souvent ces données n'ont pas lieu. On se contente donc assez ordinairement de donner au tuyau d'aspiration 7 à 8 mètres (23 ou 24 pieds). Si l'on a à élever l'eau à une plus grande hauteur, il faut se servir de la pompe foulante. Il est vrai que l'usage de cette dernière est sujet à bien des inconvéniens. On est obligé de placer son corps de pompe dans le puits ou dans le bassin : et lorsqu'il y a à y travailler, ce qui n'arrive que trop souvent, il faut

de deux choses l'une; ou vider le puits ou le bassin, ou en retirer le corps de pompe; ce qui est très-incommode et très-coûteux. Pour éviter ces inconvéniens, ce qu'il y a à faire de mieux en pareil cas, c'est de rendre la pompe tout-à-la-fois aspirante et foulante, comme nous le verrons ci-après (425).

422. En 1766, on prétendit, et l'on fit mettre dans les papiers publics, qu'on avoit fait à Séville en Espagne, une pompe simplement aspirante, qui élevoit l'eau à 60 pieds (environ 19 $\frac{1}{2}$ mètres); et l'on conclut en conséquence, que jusqu'alors on s'étoit lourdement trompé, en disant que la pression de l'air ne pouvoit soutenir une colonne d'eau que de 52 pieds (10 $\frac{1}{2}$ mètres). Voyons jusqu'à quel point cette prétention étoit fondée. Un ferblantier peu instruit, construisit effectivement, à Séville, une pompe aspirante, au tuyau d'aspiration de laquelle il donna 60 pieds (19 $\frac{1}{2}$ mètres) de longueur, parce qu'il avoit besoin d'élever l'eau à cette hauteur. Sa pompe en place, il la mit en jeu, et ne put jamais parvenir à faire arriver l'eau au corps de pompe. Soit impatience ou colère, il donna un coup de hache, et fit une petite ouverture au tuyau d'aspiration, à environ 10 pieds (3 $\frac{1}{4}$ mètres) au-dessus de la surface de l'eau du bassin. Aussitôt il arriva une petite portion d'eau au corps de pompe. C'est d'après ce procédé qu'on a prétendu avoir fait une pompe aspirante, qui élevoit l'eau à 60 pieds (19 $\frac{1}{2}$ mètres). Le lecteur peut juger cette prétention.

423. Supposons donc que le tuyau d'aspiration P F a, depuis *a*, surface de l'eau du bassin, jusqu'en F, 60 pieds (19 $\frac{1}{2}$ mètres) de hauteur; et qu'après un certain nombre de coups de piston, on est

parvenu à faire monter l'eau jusqu'en *c* à 32 pieds (10 $\frac{1}{3}$ mètres) de hauteur. Si l'on fait alors un petit trou en *b* à 10 pieds (3 $\frac{1}{4}$ mètres) au-dessus de la surface de l'eau, l'air qui entre par ce petit trou, et qui exerce sa pression en toutes sortes de sens (301), fait tomber dans le bassin la colonne d'eau de 10 pieds (3 $\frac{1}{4}$ mètres) qui est au-dessous de *b*; et la pression que l'air exerce en *b* de bas en haut, n'a plus affaire qu'à une colonne d'eau de 22 pieds (environ 7 mètres). Elle pourroit donc porter cette colonne, non pas seulement à 60 pieds (19 $\frac{1}{3}$ mètres), mais à plus de 8000 pieds (2600 mètres) de hauteur. Car l'air, pris vers la surface de la terre, est plus de 800 fois moins dense que l'eau (885); et en supposant (ce qui n'est pas) que sa densité ne fût pas en diminuant, à mesure qu'on s'élève, les 10 pieds (3 $\frac{1}{4}$ mètres) d'eau retranchés équivaudroient donc à plus de 8000 pieds (2600 mètres) d'air. La colonne d'air qui presseroit en *b*, seroit donc trop forte de plus de 8000 pieds (2600 mètres). Ainsi les 22 pieds (7 mètres) d'eau restans, ne seroient en équilibre avec la colonne d'air, qu'après être montés à plus de 8000 pieds (2600 mètres). Pour avoir une seconde portion d'eau avec une pareille pompe, il faudroit commencer par boucher le trou qu'on auroit fait en *b*, ensuite donner plusieurs coups de piston, pour élever l'eau jusqu'en *c*, et enfin venir rouvrir le trou en *b*. Regardera-t-on ce procédé comme bien simple? et pour avoir une si petite quantité d'eau. Encore faudroit-il que le tuyau d'aspiration fût d'un petit diamètre, sans quoi la colonne d'eau se déchireroit, l'air passeroit au travers, et il ne monteroit pas une goutte d'eau au corps de pompe. Pour annoncer fausse une opinion

opinion universellement reçue, il faut, pour le moins, y penser à deux fois.

424. Fort peu de temps après, *Bellangé*, orfèvre-bijoutier, demeurant à la place Dauphine, à Paris, imita la pompe de Séville, et lui donna de plus la propriété de fournir de l'eau à 55 pieds (environ 18 mètres) de hauteur par un jet continu, quoiqu'elle ne fût que simplement aspirante. Voici comment il s'y prit. A un petit corps de pompe de 25 lignes (56 millimètres) de diamètre intérieur, et dont le piston avoit 8 pouces (217 millimètres) de jeu, il adapta un tuyau d'aspiration de 10 lignes (23 millimètres) de diamètre, et 56 pieds (18 mètres) de longueur : ce tuyau étoit garni d'une soupape à sa jonction avec le corps de pompe, et d'une autre à son extrémité inférieure. Cette extrémité plongeoit dans un tonneau plein d'eau. *Bellangé* avoit fait à ce tuyau un petit trou d'environ $\frac{1}{2}$ ligne (1 millimètre) de diamètre, à 12 ou 15 pouces (365 millimètres) au-dessus de la surface de l'eau du tonneau. Le tout ainsi disposé, s'il faisoit mouvoir le piston lentement, il ne montoit point d'eau : le petit trou fournissoit assez d'air pour remplir le tuyau d'aspiration. Mais s'il faisoit jouer le piston avec beaucoup de vîtesse, le petit trou ne pouvant pas, en si peu de temps, fournir assez d'air pour remplir le tuyau, il montoit un peu d'eau qui se mêloit à l'air, de sorte que la colonne se trouvoit composée de petits cylindres alternativement d'air et d'eau ; et quoiqu'elle eût 55 pieds (environ 18 mètres) de hauteur, il s'en falloit de beaucoup qu'elle pesât autant que pèseroit une colonne d'eau continue de 32 pieds ($10\frac{1}{3}$ mètres) de haut. Aussi, ayant calculé, d'après le diamètre du

corps de pompe, et l'étendue du jeu du piston, la quantité d'eau que cette pompe auroit dû fournir, s'il n'étoit point passé d'air, et ayant comparé cette quantité à celle qu'elle nous fournit réellement, je trouvai cette dernière de beaucoup inférieure. Car, en 6 minutes de temps, on donna 530 coups de piston, qui ne fournirent que 36 pintes (34 litres) d'eau; ils en auroient dû fournir plus de 292 pintes (277 litres). Cette pompe ne nous fournit donc pas la huitième partie de l'eau qu'elle auroit dû nous fournir. Ainsi, quoiqu'elle paroisse mieux conçue, elle ne vaut pas mieux que celle de Séville.

425. La pompe aspirante et foulante est composés d'un corps de pompe G H (*fig.* 54), ouvert par le haut, et à la partie inférieure duquel est adapté le tuyau d'aspiration H V. A la réunion de ce tuyau avec le corps de pompe, est une soupape S, destinée au même usage que dans la pompe simplement aspirante (419). Dans le corps de pompe est un piston M, non pas percé comme les précédens, mais plein, et qui est mis en jeu à l'aide de la tige x X, et d'un levier Y X Z du second genre (477), qui a son point d'appui en Z. A côté du corps de pompe, et vers le bas, est adapté un tuyau montant H R, garni d'une soupape s dans sa partie inférieure, et d'un tuyau de décharge R dans sa partie supérieure. Cette pompe doit être assujétie de façon qu'il n'y ait que l'extrémité inférieure du tuyau d'aspiration H V qui plonge dans l'eau.

426. Il est aisé de voir que la première action de cette pompe est d'être aspirante, comme celle dont nous avons parlé cidessus (419). Car si l'on soulève

le piston M, en amenant le levier Y XZ dans la situation *y u* Z, on soulève la colonne d'air qui repose dessus : l'air qui est dans le tuyau d'aspiration devient par-là plus rare que l'air extérieur. Ce dernier presse donc avec avantage sur la surface de l'eau AA, et la porte, après quelques coups de piston, jusque dans le corps de pompe. Arrivée là, si l'on abaisse le piston M, la soupape S se ferme, et l'eau est contrainte d'enfiler le tuyau montant HR, en soulevant la soupape *s*; laquelle, sitôt que la pression cesse, retombe par son poids et celui de l'eau qui est au-dessus. On voit donc que le piston aspire en montant, et foule en descendant.

427. Cette pompe est très-commode, en ce que son corps de pompe étant placé hors de l'eau, on peut y faire aisément les réparations nécessaires; et en ce qu'on peut, par son moyen, porter l'eau à telle hauteur que l'on veut; il ne s'agit pour cela que de donner plus de longueur au tuyau montant, et augmenter la force qui doit mettre la pompe en jeu.

428. On peut mettre dans le genre de la précédente (425) la pompe d'incendie, qui non-seulement est tout-à-la-fois aspirante et foulante, mais dont le jet est continu, quoiqu'elle n'ait qu'un corps. Cette pompe est, pour l'essentiel, composée comme la pompe aspirnate et foulante (*fig.* 54), dont nous venons de parler (425), avec cette différence que son tuyau d'aspiration est beaucoup plus court; et qu'au lieu de tuyau montant solide, elle porte un tuyau de cuir, auquel on donne une longueur convenable. Cette pompe (*fig.* 55.) est donc composée d'un corps de pompe GH, ouvert par le haut, et à la partie inférieure duquel est adapté le tuyau d'aspira-

tion H T. A la réunion de ce tuyau avec le corps de pompe, est une soupape S, destinée à empêcher que l'eau, une fois passée dans le corps de pompe, retourne dans le bassin. Dans ce corps de pompe est un piston M, non pas percé, mais pleiu, et qui est mis en jeu à l'aide de la tige de métal α X, et d'un levier du second genre (477) Y X Z, qui a son point d'appui en Z. Vers le bas du corps de pompe et sur le côté, est un trou C que l'on recouvre d'un clapet *c l*, dont la queue *l* est à ressort, et attachée avec une petite vis. Ce clapet est destiné à empêcher que l'eau, sortie du corps de pompe, puisse y rentrer, lorsqu'on soulève le piston M. Le corps de pompe G H est enveloppé de toutes parts d'un tuyau A B D E, d'un diamètre de 2 ou 3 pouces (environ 68 millimètres) plus grand que celui du corps de pompe, et l'intervalle qui demeure entre l'un et l'autre, est rempli d'air. A la partie inférieure de ce tuyau et sur le côté, est adapté un autre petit tuyau coudé E R, garni à son bout R d'une soupape *s* et d'une virole à vis, destinée à recevoir un écrou, par le moyen duquel on joint, à ce bout de tuyau, le tuyau de cuir dont nous avons parlé ci-dessus, et qui tient lieu de tuyau montant. Tout cet assemblage est placé, comme on le voit, en P (*fig.* 56.), sur une caisse N O doublée de plomb, qui contient l'eau, et serré de haut en bas entre le couvercle L de la caisse et une traverse Q, au travers de laquelle passe le bout supérieur F (*fig.* 55.) du corps de pompe, qui pour cela est d'un plus petit diamètre que le reste. Le couvercle L (*fig.* 56.) de la caisse est aussi percé à son milieu, pour laisser passer le tuyau d'aspiration H T (*fig.* 55).

429. On voit maintenant que, si l'on soulève le piston M, en amenant le levier Y X Z dans la situation *y u* Z, la soupape *s* et le clapet *c*, placé en C, se trouvent serrés contre leurs trous par la pression de l'air extérieur. Cette même pression, agissant sur la surface de l'eau V V, l'oblige de passer dans le corps de pompe, en soulevant la soupape S. La pompe est donc alors aspirante. Mais lorsqu'on abaisse le piston M, la pression que cela cause, ferme la soupape S, et ouvre le clapet qui est en C : l'eau passe donc alors, non-seulement dans le tuyau de cuir *a b d* (*fig.* 56.) en soulevant la soupape *s* (*fig.* 55.), mais encore dans l'intervalle qui se trouve entre le corps de pompe et le tuyau qui l'enveloppe, en montant vers I K, et y comprimant l'air qui y est renfermé. Sitôt qu'on soulève de nouveau le piston M, cet air n'étant plus soumis à la pression qu'il éprouvoit, se développe par son ressort, agit sur l'eau qui est entre le corps de pompe et le tuyau qui l'enveloppe, et la pousse dans le tuyau de cuir : de sorte que, lorsqu'on abaisse le piston, l'eau est poussée par le piston lui-même; et lorsqu'on le soulève, l'eau est poussée par le ressort de l'air (905) : ce qui rend le jet continu, quoiqu'il n'y ait qu'un corps de pompe.

430. La continuité du jet est nécessaire dans les incendies. On l'obtient avec cette pompe, en employant le ressort de l'air dans le moment où l'on soulève le piston. Il est vrai qu'il faut alors, pour faire jouer la pompe, une force double; savoir, une force capable de pousser la colonne d'eau, et une force pareille pour comprimer l'air. Mais ce n'est point un inconvénient; car, dans le cas d'incendie,

on manque rarement de bras; il n'y en a souvent que trop.

431. On emploie, pour mouvoir les pompes, toutes sortes d'agens, comme des hommes, des chevaux, des courans d'eau, l'action du vent, etc. Les petites machines de ce genre, telles que les pompes à puits ou à incendies, sont ordinairement mues à bras d'hommes. Lorsqu'on a à élever une quantité considérable d'eau, on augmente à proportion la force motrice : et pour qu'elle exerce continuellement le même effort, du moins à-peu-près, sans rester oisive, on établit plusieurs équipages de pompes; de manière que lorsqu'une partie des pistons descend, l'autre monte. C'est ainsi qu'on l'a pratiqué à la machine de Marli.

432. Tout le jeu de ces machines dépend de la régularité du mouvement alternatif des soupapes ou des clapets. Il faut donc que ces pièces soient tellement construites et disposées, qu'elles tiennent bien l'eau, quand elles sont fermées, et qu'elles s'ouvrent facilement quand elles doivent le faire.

433. On emploie aussi quelquefois, pour mettre des pompes en jeu, l'action de l'eau réduite en vapeur par l'action du feu; et c'est ce qu'on appelle *pompes à feu*, qui sont des machines hydrauliques, propres à élever une grande quantité d'eau à une grande hauteur. Nous en parlerons ci-après (1067), en traitant de l'eau comme vapeur, et en faisant connoître les efforts énormes dont est capable ce fluide élastique.

Mouvement des eaux dans les tuyaux de conduite.

434. Lorsqu'on veut conduire de l'eau d'un endroit à un autre, il est clair qu'il faut des tuyaux de conduite d'autant plus longs, que l'endroit d'où l'eau part et celui où elle doit arriver sont plus distans l'un de l'autre. Dans les tuyaux additionnels, dont nous avons parlé ci-dessus (381 *et suivans*), nous avons peu tenu compte de la résistance des frottemens, parce qu'elle y est peu sensible. Il n'en est pas de même dans les longs tuyaux : le frottement de l'eau contre leurs parois, ralentit considérablement la vîtesse, comme le prouve l'expérience. Supposons d'abord les tuyaux rectilignes.

435. Dans ces expériences, on s'est servi de deux tuyaux, dont l'un avoit 16 lignes (36 millimètres) de diamètre intérieur, et l'autre 2 pouces (54 millimètres). On a alongé successivement le deux tuyaux, depuis 30 pieds ($9\frac{1}{4}$ mètres) jusqu'à 180 ($58\frac{1}{2}$ mètres). Et la hauteur constante de l'eau dans le réservoir, au-dessus de l'axe de chaque tuyau, a été tantôt de 1 pied (325 millimètres), tantôt de 2 pieds (650 millimètres).

436. On voit dans la table suivante les résultats de toutes ces expériences.

Hauteurs constantes de l'eau dans le réservoir au-dessus de l'axe du tuyau, exprimées en pieds.	Distances des points où l'on a reçu l'eau au point où on l'a prise, exprimées en pieds.	Nombre de pouces cubes d'eau fournis en 1 minute par le tuyau de 16 lignes de diamètra.	Nombre de pouces cubes d'eau fournis en 1 minute par le tuyau de 2 pouces de diamètre.
1	30	2778	7680
1	60	1957	5564
1	90	1587	4534
1	120	1351	3944
1	150	1178	3486
1	180	1052	3119
2	30	4056	11219
2	60	2888	8190
2	90	2362	6812
2	120	2011	5885
2	150	1762	5232
2	180	1583	4710

TABLEAU EN MESURES DÉCIMALES.

Hauteurs constantes de l'eau dans le réservoir au-dessus de l'axe du tuyau, exprimées en millimèt.	Distances des points où l'on a reçu l'eau au point où on l'a prise, exprimées en metres.	Nombre de millimètres cubes d'eau fournis en une minute par le tuyau de 36 millimètres de diamètre.	Nombre de millimètres cubes d'eau fournis en une minute par le tuyau de 54 millimètres de diamètre
325	$9\frac{3}{4}$	55105449	152343357
325	$19\frac{1}{2}$	38817785	110369588
325	$29\frac{1}{4}$	31480326	89938122
325	39	26798942	78234661
325	$48\frac{3}{4}$	23367249	69149602
325	$58\frac{1}{2}$	20867866	61861652
650	$9\frac{3}{4}$	80456335	222544286
650	$19\frac{1}{2}$	57287450	162459908
650	$29\frac{1}{4}$	46853517	135125384
650	39	39890949	116737064
650	$48\frac{3}{4}$	34951692	103783912
650	$58\frac{1}{2}$	31400981	93429324
m.mt.	mètres.	litres. m.mt.c.	litres. m.mt.c.

437. Si, au moyen de la table ci-dessus (397), on cherche les dépenses de deux bouts de tuyaux additionnels, de 16 lignes (36 millimètres) et de 2 pouces (54 millimètres) de diamètre, sous mêmes hauteurs de réservoirs, et sans avoir égard aux frottemens, mais seulement aux aires des orifices des tuyaux, on trouve que, pendant 1 minute :

1°. La hauteur du réservoir étant de 1 pied (325 millimètres), le tuyau de 16 lignes (36 millimètres) de diamètre fourniroit 6292 pouces cubes (124810469 millimètres cubes) d'eau.

2°. La hauteur du réservoir étant de 2 pieds (650 millimètres), le même tuyau fourniroit 8893 pouces cubes (176404879 millimètres cubes) d'eau.

3°. La hauteur du réservoir étant de 1 pied (325 millimètres), le tuyau de 2 pouces (54 millimètres) de diamètre fourniroit 14156 pouces cubes (280803718 millimètres cubes) d'eau.

4°. La hauteur du réservoir étant de 2 pieds (650 millimètres), le même tuyau fourniroit 20008 pouces cubes (396886182 millimètres cube) d'eau.

On voit que ces dépenses d'eau sont beaucoup plus grandes que leurs correspondantes dans la table précédente; et que la dépense de chaque tuyau diminue d'autant plus que ce tuyau est plus long, parce qu'alors il y a plus de surfaces frottantes.

438. Mais on peut remarquer aussi que la diminution de la dépense n'est pas en proportion de l'alongement du tuyau : cette dépense diminue à mesure qu'on alonge le tuyau, mais par des quantités qui décroissent; car les premiers 30 pieds ($9\frac{1}{4}$ mètres) diminuent beaucoup plus la dépense que ne le font

qu'alors le choc de l'eau seroit moins oblique, et feroit par-là perdre plus de vîtesse.

443. Quand les tuyaux sont courbes, et que le plan de leur courbure est vertical (*fig.* 57), il y a alors des pentes et des contrepentes, dans lesquelles l'air peut se cantonner, et ralentir ou même arrêter le cours de l'eau. Soit, par exemple, le tuyau ABCDEFG, dont l'extrémité supérieure A répond à un réservoir qui lui fournit l'eau et l'extrémité G va fournir de l'eau à une fontaine. Le tuyau n'étant rempli que d'air, si l'on fournit de l'eau en A, cette eau, chassant l'air devant elle, remplira la portion A B plus la portion B C : l'eau arrivée à la courbure C, glissera par la partie inférieure de cette courbure, et ira (comme l'expérience le prouve) remplir le coude D, laissant derrière elle la colonne d'air C D, qui ne pourra plus sortir. L'eau continuant de couler, montera de D en E, où étant arrivée, elle glissera encore par la partie inférieure de cette courbure pour aller remplir le coude F, laissant derrière elle une seconde colonne d'air E F, qui y demeurera cantonnée malgré la pression de la colonne A B. Car la colonne d'air C D ne peut pas contrebalancer la pression de la colonne d'eau D E ; non plus que la colonne d'air E F ne contrebalancera la colonne d'eau F I. De sorte que, quoique l'eau soit dans le tuyau A B bien au-dessus du niveau G, l'eau ne pourra s'élever que vers I, et ne coulera point. Le seul remède est de chasser les deux colonnes d'air C D et E F en mettant, au sommet des courbures, deux bouts de tuyau C et E, par lesquels on laissera échapper l'air, et que l'on fermera ensuite avec des tampons ou des robinets, lorsque le cours de l'eau sera bien établi.

Mouvement oscillatoire de l'eau dans un Siphon.

444. Nous avons prouvé ci-dessus (262) que, si un corps lourd ou pendule A (*fig.* 29) suspendu par le moyen d'un fil CE, décrit des arcs de cercle BAD ou FAG, en oscillant autour du point fixe C, toutes ses oscillations sont isochrones ou de même durée, quoique les arcs parcourus BAD ou FAG soient inégaux. Nous avons prouvé aussi (263) que les durées des oscillations de deux pendules de longueurs inégales, sont entr'elles comme les racines quarrées de ces longueurs. Le mouvement de l'eau qui se balance ou oscille dans un siphon, est de même genre.

445. Supposons un siphon (*fig.* 58) composé de trois branches, deux verticales *ln*, *mo*, et une horizontale *no*; que le diamètre intérieur de ce siphon soit bien égal dans toute son étendue; que, dans ce siphon, le fluide, dans l'état de repos, occupe l'espace *anod*; alors les deux surfaces *ab*, *cd*, sont de niveau. Supposons ensuite que, par une cause quelconque, la liqueur soit forcée de descendre en *gh*, dans la branche *mo*, et par conséquent de s'élever en *ef*, dans la branche *ln*: sitôt que cette cause cessera d'agir, le fluide sera abandonné uniquement à l'action libre de sa pesanteur. L'excès de longueur de la colonne *en* sur celle de la colonne *ho* forcera la liqueur de descendre, et même au-dessous du niveau de l'autre, à cause de l'accélération de sa chûte (216); ce qui fera monter la liqueur dans l'autre branche *mo*; laquelle liqueur redescendra et remontera ensuite alternativement, formant des oscillations semblables à celles d'un pendule qui va et vient : et la durée de

chacune de ces oscillations sera précisément la même que celle des oscillations d'un pendule qui auroit pour longueur la moitié de la longueur *p q r* de la colonne fluide.

446. Puisque les oscillations de l'eau suivent les mêmes loix que celles des pendules (263), si l'on augmente ou diminue la longueur de la colonne d'eau, la durée de chacune de ses oscillations augmentera ou diminuera, et suivra la raison soudoublée de cette longueur.

Mouvement oscillatoire de l'Eau dans les Ondes.

447. *Newton*, dans ses *Principes mathématiques* (*liv. II. prop. 46*) compare au mouvement oscillatoire de l'eau dans un siphon, le mouvement d'ondulation d'une masse fluide indéfinie, qui a été dérangée de sa situation d'équilibre par l'action du vent ou de toute autre manière. Soit A B C D E F (*fig.* 59) une eau stagnante dont la surface monte et descende par des ondes successives; que A, C, E, soient les éminences de ces ondes, et B, D, F les cavités intermédiaires qui les séparent. Comme le mouvement des ondes se fait par l'ascension et la descension successive de l'eau, en sorte que ces parties qui sont les plus hautes deivennent ensuite les plus basses, et ainsi de suite alternativement et successivement; et comme la force motrice qui fait monter les parties les plus bases et descendre les plus hautes, est le poids de l'eau élevée; cette ascension et cette descension alternatives sont analogues au mouvement d'oscillation de l'eau dans un siphon, et elles observent les mêmes loix par rapport à leur durée.

448. Si donc l'on a un pendule dont la longueur soit égale à la moitié de la distance tranversale qu'il y a entre une éminence A, par exemple, et la cavité B, c'est-à-dire, égale à la moitié de A *b*, les parties les plus hautes deviendront les plus basses dans la durée d'une oscillation de ce pendule; et dans la durée d'une autre oscillation, elles redeviendront les plus hautes. Chacune de ces ondes parcourra donc sa largeur dans le temps que le pendule emploiera à faire deux oscillations. Et comme un pendule dont la longueur seroit quadruple de celle du précédent, c'est-à-dire, dont la longueur égaleroit la largeur A C de l'onde, ne feroit qu'une oscillation pendant que le premier en feroit deux (263), on doit conclure que les ondes font leurs oscillations dans le même temps qu'un pendule qui auroit pour longueur la largeur des mêmes ondes, feroit les siennes. On appelle *largeur des ondes*, l'espace transversal A C qui est entre leurs plus grandes élévations, ou l'espace B D qui est entre leurs plus grands abaissemens.

449. Il suit de là que des ondes qui auroient 3 pieds 8,636224 lignes (994) (m. mt.) de largeur, en avançant pendant une seconde, parcourroient leur largeur : par conséquent dans une minute elles parcourroient 182 pieds 2 pouces 6 lignes (59 mètres 188 millimètres); et dans une heure 10932 pieds 6 pouces (3551 mètres 302 millimètres). Si ces ondes avoient une largeur quadruple, elles parcourroient cette largeur dans un temps qui ne seroit que double : donc plus elles ont de largeur, plus elles parcourent de chemin dans un temps donné.

450. Le tout arriveroit ainsi que nous venons de

le dire, dans l'hypothèse que toutes les parties de l'eau monteroient et descendroient en lignes droites; mais cette ascension et cette descension se font plutôt par des lignes courbes: ainsi cette détermination de tel et tel espace parcouru, dans un temps donné, n'est qu'un à-peu-près.

Mouvemens des roues mues par le choc de l'Eau.

451. Parmi les roues des moulins, les unes ont leur circonférence garnie d'aubes, les autres l'ont garnies d'auges. Dans le premier cas, l'eau agit sur ces roues principalement par son choc : dans le second elle agit par son poids. Parlons d'abord des roues mues par le choc de l'eau.

452. L'expérience a prouvé que plus les roues ont d'aubes, plus elles tournent vîte. Aux roues de 20 pieds (65 décimètres) de diamètre on met ordinairement 40 aubes : un plus grand nombre, comme par exemple 48, seroit plus avantageux. Aux roues des moulins placés dans des bateaux sur des rivières, on ne met pour l'ordinaire que 8 à 10 ailes ou aubes; ces roues produiroient plus d'effet si elles en avoient 15 à 16.

453. Lorsqu'une roue à aubes tourne dans une coursière, l'impulsion qu'elle reçoit de la part de l'eau, est environ $\frac{1}{5}$ de la vîtesse du fluide, plus grande que l'impulsion qu'elle reçoit dans un fluide indéfini, parce que, dans ce dernier, l'eau, qui est abondante, tourne derrière l'aube, et lui résiste; au lieu que, dans la coursière, il n'y a que peu d'eau, qui fuit aussi vîte ou même plus vîte que l'aube.

454. En effet, l'expérience prouve que, lorsque la coursière n'a que la largeur et la profondeur simplement suffisantes pour le jeu de la roue, et que le fluide a la liberté de s'échapper après avoir donné son choc, l'impulsion directe et perpendiculaire contre l'aube de la roue est environ double de l'impulsion que l'aube recevroit, si elle étoit plongée à même profondeur dans un courant indéfini.

455. Lorsqu'une roue, garnie de quarante-huit aubes, tourne dans une coursière, et qu'elle n'est pas plongée bien profondément dans l'eau, sa circonférence doit prendre environ les $\frac{1}{2}$ de la vîtesse du courant, pour que la machine produise le plus grand effet.

456. Les aubes dirigées au centre de la roue paroissent les plus avantageuses, parce qu'alors il s'en faudroit peu qu'elles fussent frappées perpendiculairement par le fluide; ce qui produiroit la percussion la plus grande. Lorsqu'elles sont inclinées, le choc est oblique; ce qui diminue l'effort. Cependant un certain degré d'inclinaison fait que l'eau monte le long de l'aube, et y demeure pendant un certain temps; elle y agit alors par son poids, après avoir agi par son choc; et il peut se faire que l'effort qui en résulte fasse plus que compenser la diminution que le choc reçoit par l'obliquité sous laquelle l'aube est frappée. En général, dans les roues posées dans des coursières qui ont une certaine pente, les aubes doivent être inclinées d'une certaine quantité au rayon, tant pour être frappées dans une direction plus approchante de la perpendiculaire, que pour recevoir une augmentation de force de la part du poids de l'eau. L'inclinaison des aubes au rayon la plus

plus avantageuse, paroît être, suivant l'expérience, entre 20 et 30 degrés.

457. Une roue placée près du réservoir, tourne plus vîte que par-tout ailleurs, parce qu'on profite alors de toute la chûte de l'eau. Mais si l'on est contraint de placer la machine au bout d'une coursière, à une certaine distance du réservoir, il faut incliner le canal de la coursière d'environ la dixième partie de sa longueur, afin que la pente rende à l'eau la vîtesse détruite par le frottement. Alors la roue reçoit la même impulsion que si elle étoit placée près du réservoir.

Mouvement des roues mues par le poids de l'Eau.

458. L'eau agissant par son poids, produit un effet beaucoup plus grand, que lorsqu'elle agit par son choc. Car *Parent* en 1704, et *Pitot* en 1725, ont démontré qu'une roue (supposée sans frottement), mue par un courant d'eau, et destinée à faire remonter une portion de cette eau à la hauteur de celle qui la fait mouvoir, n'en pourroit élever au plus que les $\frac{4}{27}$, ou un peu plus de $\frac{1}{7}$. Au lieu qu'en faisant agir l'eau sur la roue par son seul poids, elle peut faire remonter, à la même hauteur d'où elle descend, la moitié de l'eau qui descend, ou les $\frac{1}{3}$, ou les $\frac{1}{4}$, ou, etc.

459. Lors donc qu'on n'aura qu'une petite quantité d'eau, et qu'on sera contraint de la ménager (ce qui arrive le plus souvent, parce qu'il y a plus de petits ruisseaux que de grandes rivières) il faudra faire agir cette eau par son poids plutôt que par son choc. Pour cela, au lieu de roues à aubes, on se ser-

vira de roues à augets, partout où l'on pourra avoir une chûte de plus de 4 pieds (13 décimètres), et où l'on n'aura pas toute l'eau nécessaire pour faire tourner, par exemple, un moulin avec une roue à aubes.

460. *Deparcieux* (*Mém. de l'Acad. des Scien.* ann. 1754, pag. 603 et 671.) a ensuite prouvé que, plus les roues à augets tournent lentement, plus elles produisent d'effet avec une dépense d'eau égale. Il a donc fait faire une petite roue de 20 pouces (541 millimètres) de diamètre, dont la circonférence est garnie de 48 augets. Sur l'arbre ou axe de cette roue sont placés quatre cylindres de différentes grosseurs : le moindre a 1 pouce (27 millimètres) de diamètre; le suivant a 2 pouces (54 millimètres); le troisième en a 3 (81 millimètres); et le quatrième, 4 (108 millimètres,). Ces cylindres sont les différens treuils autour desquels s'enveloppe le cordon qui monte un poids, par le moyen d'une poulie de renvoi, placée au-dessus de la machine. L'arbre de cette roue est porté à chaque bout sur deux rouleaux très-mobiles; et cela pour diminuer les frottemens. Sur le devant de la roue, et un peu plus haut que son axe, est une petite tablette, sur laquelle on place un vase percé sur le côté tourné vers la roue, et que l'on remplit d'eau. Au-dessus de ce vase on place et l'on soutient une grande bouteille pleine d'eau, renversée, et dont le goulot plonge de quelques lignes dans l'eau du vase, afin que la bouteille ne puisse se vider qu'à mesure que l'eau du vase s'écoule par le trou dont nous venons de parler. Cette eau, en s'écoulant, tombe dans un canal qui la porte dans les augets de la roue. Par-là, on est sûr d'employer à chaque expérience toujours la même quantité d'eau.

461. Voici les résultats des expériences faites par *Deparcieux*. Il a enlevé des poids, tantôt de 12 onces (367 grammes 129 milligrammes), tantôt de 24 onces (734 grammes 259 milligrammes): le plus fort résistant davantage, obligeoit la roue à tourner plus lentement. Il a fait envelopper les cordons qui soutenoient les poids successivement sur les différens cylindres: le même poids résistoit donc d'autant plus, que son cordon enveloppoit un plus gros cylindre.

Diamètres des cylindres.	Élévations du poids de 12 onces.	Élévations du poids de 24 onces.
1 pouces.	69 pouc. 9 lign.	40 pouc. 0 lign.
2	80 6	43 6
3	85 6	44 6
4	87 9	45 3

TABLEAU EN MESURES DÉCIMALES.

Diamètres des cylindres.	Élévations du poids de 367129 milligr.	Élevations du poids de 734259 milligr.
27 m.mt.	1888 m.mt.	1083 m.mt.
54	2179	1178
81	2314	1205
108	2375	1225
millimètres.	millimètres.	millimètres.

462. Quand le cordon enveloppe un plus gros cylindre, ou que le poids enlevé est plus considérable, la roue tourne plus lentement. On voit, par

ces résultats, que le même poids est porté d'autant plus haut, que son cordon enveloppe un plus gros cylindre. On voit de même que le poids double qui ralentit encore la rotation, est porté à plus de la moitié de la hauteur à laquelle est porté le poids simple. Donc, dans ces cas-là, l'effet est plus grand.

463. On peut donc établir comme un principe que *l'eau d'une même chûte agit par son poids beaucoup plus avantageusement que par son choc; et que plus les roues à augets tournent lentement, plus, à dépenses d'eau égales, elles produisent d'effet.* Ce plus d'effet résulte de ce que la même portion d'eau agit plus long-temps quand la roue tourne plus lentement.

CHAPITRE IX.

De la Mécanique statique.

464. Après avoir parle des propriétés et des loix du mouvement, soit des corps solides, soit des fluides, nous devons maintenant nous occuper des moyens d'employer ces mouvemens utilement pour nous. Ces moyens sont les machines; c'est-à-dire, des assemblages d'une construction plus ou moins simple, qui transmettent l'action d'une puissance sur une résistance, et qui la font croître ou diminuer en variant les vîtesse de l'une ou de l'autre. En un mot, ce sont des instrumens, simples ou composés, destinés à produire du mouvement, de façon à épargner ou du temps dans l'exécution de l'effet, ou de la force dans la cause.

465. La mécanique est la science qui nous conduit à la connoissance de ces moyens. Dans sa signification la plus étendue, elle a pour objet les loix du mouvement des corps et les loix de leur équilibre. Quand elle considère le mouvement, elle se nomme *mécanique proprement dite*, ou *dynamique* : c'est celle qui nous a occupés jusqu'à présent. Quand elle traite des loix de l'équilibre, elle s'appelle *mécanique statique* : c'est celle-ci dont nous allons nous occuper maintenant.

466. On distingue deux sortes de machines : les machines simples, et les machines composées. Nous traiterons principalement des simples; car leur assemblage ne change rien à leurs propriétés.

467. On compte ordinairement six machines simples, que l'on appelle *forces mouvantes*, et auxquelles toutes les autres machines peuvent se réduire; savoir, le *levier*, la *poulie*, le *treuil*, le *plan incliné*, le *coin* et la *vis*. On pourroit réduire ces six machines à deux; savoir, le levier et le plan incliné; car on peut considérer la poulie et le treuil comme des assemblages de leviers; et le coin et la vis ne sont autre chose que des plans inclinés, comme nous le verrons ci-après (548 et 555).

468. Les machines composées sont celles qui sont en effet composées de plusieurs machines simples, combinées ensemble. Ce sont donc des assemblages d'une construction plus ou moins composée, par le moyen desquels on peut faire varier la valeur d'une puissance en variant les vîtesses.

469. Il y a dans une machine quatre choses principales à considérer; savoir, la puissance, la résis-

tance, le point d'appui ou le centre de mouvement, et la vîtesse de la puissance et de la résistance.

470. La puissance est une ou plusieurs forces qui concourent à vaincre un obstacle ou à soutenir son effort; tels sont les efforts des hommes, des chevaux, des poids, des ressorts, etc. Comme la puissance peut n'être pas toujours d'une valeur constante, il faut faire en sorte que, dans son moment le plus foible, elle soit toujours supérieure à la résistance, même dans son moment le plus fort; sans quoi la machine s'arrêteroit.

471. La résistance est un ou plusieurs obstacles qui s'opposent au mouvement de la machine. Tel est, par exemple, un bloc de marbre qu'on enlève avec une grue. La résistance, de même que la puissance (470), peut n'être pas toujours d'une valeur constante, comme lorsqu'il s'agit de soutenir des fluides, de tendre des ressorts, de diviser des corps, etc. Il faut donc faire en sorte que la résistance dans son moment le plus fort, soit toujours inférieure à la puissance, même dans son moment le plus foible. Ainsi, dans une pompe, par exemple, il faut supposer le tuyau montant tout plein, pour avoir le moment le plus fort de la résistance; il faut donc rendre la puissance supérieure au poids de cette colonne d'eau.

472. Le point d'appui ou centre de mouvement est cette partie d'une machine autour de laquelle les autres se meuvent. Dans un balance, par exemple, le point de la chasse où repose l'axe du fléau, est le point d'appui. Il faut toujours que ce point d'appui soit assez fort pour soutenir la puissance et la résis-

tance, ou pour, dans certains cas, concourir avec une de ces forces à soutenir l'effort de l'autre.

473. Les vîtesses se mesurent par les espaces que parcourent dans le même temps la puissance et la résistance (56), ou qu'elles parcourroient, si l'une des deux emportoit l'autre. Comme, dans une machine, les temps sont toujours égaux pour la puissance et la résistance, ces espaces parcourus ou à parcourir déterminent leurs vîtesses relatives (61).

474. Pour calculer l'effet d'une machine, on la considère ordinairement dans l'état d'équilibre, c'est-à-dire, dans l'état où la puissance, qui doit surmonter la résistance, est en équilibre avec cette résistance. Mais il faut remarquer qu'après le calcul du cas de l'équilibre, on n'a encore qu'une idée très-imparfaite de l'effet de la machine; car, comme toute machine est destinée à mouvoir, on doit la considérer dans l'état de mouvement, et non pas dans celui d'équilibre. Pour cela, il faut avoir égard, 1°. à la masse (52) de la machine ou des pièces de cette machine que la puissance est obligée de soulever, laquelle masse s'ajoute à la résistance à vaincre, et pour laquelle on doit par conséquent augmenter la puissance; 2°. au frottement, qui augmente prodigieusement la résistance (96 *et suiv.*) C'est principalement ce frottement et les loix de la résistance des solides, si différens pour les grands et pour les petits corps, qui font souvent qu'on ne sauroit conclure de l'effet d'une machine en petit à celui d'une autre machine semblable en grand, parce que les résistances n'y sont pas proportionnelles aux dimensions des machines.

Du Levier.

475. Le levier est, de toute les machines, la plus simple: c'est une verge de fer, de bois, ou de toute autre matière équivalente, au moyen de laquelle une puissance aidée d'un point d'appui, peut vaincre ou soutenir une résistance. Tel est un maçon B (*fig.* 60) qui, au moyen de la verge de fer B A et du point d'appui A, soulève la pierre C.

476. On regarde ordinairement un levier comme une ligne droite, inflexible et sans poids, qui détermine les distances et les positions de la puissance (470), de la résistance (471) et du point d'appui (472). Si cette ligne est courbe, sa courbure se réduit toujours à la plus courte distance qu'elle met entre la puissance et la résistance, ou entre l'une et l'autre de ces forces et le point d'appui. Si elle a de la pesanteur, comme cela ne peut pas manquer d'être, son poids fait, d'une part, partie de la puissance, et, d'autre part, partie de la résistance; et cela suivant le rapport de distance de ces forces au point d'appui.

477. On distingue trois sortes de leviers. On appelle *levier du premier genre*, celui dans lequel le point d'appui C est placé entre la puissance A et la résistance B. On nomme *levier du second genre*, celui dans lequel la résistance B (*fig.* 62) est placée entre la puissance A et le point d'appui C. Enfin on appelle *levier du troisième genre*, celui dans lequel la puissance A (*fig.* 63) est placée entre la résistance B et le point d'appui C. Et l'on distingue les différentes espèces de chacun de ces genres par les différens rap-

ports de distance de la puissance et de la résistance au point d'appui. Ainsi, dans le levier (*fig.* 64), si le point d'appui est en *a*, la puissance en *p* et la résistance en *r*, on dit que c'est un levier du premier genre à bras égaux : si le point d'appui est en *b*, c'est un levier dont le bras de la puissance *p* est à celui de la résistance *r*, dans le rapport de 2 à 1; et si le point d'appui est en *c*, le bras de la puissance est à celui de la résistance dans le rapport de 3 à 1, et ainsi des autres. De même, dans le levier du troisième genre (*fig.* 65), si la puissance *p* est appliquée en 1, c'est un levier dont le bras de la puissance *p* est à celui de la résistance R comme 1 est à 3; car la longueur du bras de levier est toujours déterminée par la distance au point d'appui C. Mais si la puissance P est appliquée en 2, c'est un levier dont le bras de la puissance P est à celui de la résistance R, comme 2 est à 3.

478. C'est la distance de ces forces au point d'appui qui détermine leurs vîtesses, et ces vîtesses sont toujours dans le même rapport que ces distances; car, si le point d'appui étant en C (*fig.* 66), l'une des puissances est en B et l'autre en A à une distance double du point d'appui, cette dernière A aura une vîtesse double de celle de la première B. Car, si le levier vient à se mouvoir, tandis que B parcourra l'arc B *b*, A parcourra l'arc A *a*. Or ce dernier arc est double de l'autre; car les arcs sont toujours dans le même rapport que leurs rayons.

479. Comme l'effort d'un corp résulte de sa masse multipliée par sa vîtesse (64), il suit de ce que nous venons de dire (478), 1°. qu'*un poids agissant par un levier, produit un effort d'autant plus grand,*

qu'il est plus éloigné du point d'appui ; car alors il a plus de vîtesse.

480. 2°. Que *deux poids égaux, opposés sur un levier, ne sont en équilibre qu'à égales distances du point d'appui.*

481. 3°. Que *deux poids inégaux y produisent des efforts égaux, quand leurs distances au point d'appui sont en raison réciproque de leurs masses.* Le gain qu'on fait du côté de la force employée, est donc toujours accompagné d'une perte du côté du temps, et réciproquement,

Dans tout ce que nous venons de dire du levier, nous avons toujours supposé que les puissances agissoient l'une et l'autre dans des directions perpendiculaires ou également obliques au bras de levier.

482. La position la plus avantageuse d'une puissance qui agit par le moyen d'un levier, est que sa direction soit perpendiculaire au bras du levier par lequel elle agit. Ainsi, dans le levier (*fig.* 67), si la puissance B agit dans la direction *b* B, elle produit le plus grand effort qu'elle puisse produire ; elle produiroit donc un effort moindre, si elle agissoit suivant *b* D ou *b* E. Mais si, lorsqu'une des puissances devient oblique au bras du levier, l'autre puissance le devient également, de manière que les directions de ces deux puissances demeurent parallèles, telles que sont les directions *a p* et *b r* (*fig.* 68), alors elles gardent entr'elles le même rapport. Mais si ces directions reçoivent différens degrés d'obliquité, celle des deux qui s'écarte davàntage de l'angle droit, rend la puissance plus foible : par exemple, si la puissance Q (*fig.* 69) gardant sa direction perpendiculaire, l'autre

puissance devenoit oblique, et agissoit suivant pc, ou pd, ou pe, ou pf, elle deviendroit plus foible, et d'autant plus qu'elle s'écarteroit davantage de la direction perpendiculaire p P.

483. Si l'on veut juger de ce degré d'affoiblissement, on n'a qu'à prolonger ces directions obliques ad ou af (*fig.* 70.) par des lignes indéfinies ai ou ak, et supposer que le bras de levier ca tourne sur le point c, et décrit par son extrémité a une portion de cercle $aghik$; il y aura un point n ou m dans sa longueur, sur lequel la direction prolongée ai ou ak tombera perpendiculairement : c'est sur ce point que la puissance exerce toute sa force, et n'on pas à l'extrémité a du bras de levier. Sa distance au point d'appui nc ou mc, égale à bc ou ec, est moindre ; c'est donc comme si cette puissance, au lieu d'être appliquée perpendiculairement en a, l'étoit perpendiculairement en b ou en e. Mais comme les rayons ce et cb sont égaux aux rayons cm et cn, lesquels sont les sinus des angles que forment les directions ad et af avec le bras de levier, on peut comprendre d'une manière plus générale tout ce que nous venons de dire, et l'énoncer par cette proposition : *Les différens efforts d'une puissance, appliquée à l'extrémité d'un bras de levier selon différentes directions, sont entr'eux comme les sinus des angles que font ces directions avec le bras de levier.* Ce qui explique très-bien pourquoi l'effort de la puissance est le plus grand qu'il puisse être, quand sa direction est perpendiculaire au levier (482); car alors elle fait avec ce bras de levier un angle droit, dont le sinus est le rayon entier, c'est-à-dire, le bras entier du levier.

484. Il est indifférent que la direction de la puis-

sance s'écarte de l'angle droit, soit en dedans, soit en dehors du levier. Ainsi, qu'une puissance agisse suivant la direction *a* D (*fig.* 71), faisant avec le levier *b a* un angle aigu, ou suivant la direction *a* P, faisant avec ce même levier un angle obtus, pourvu que, dans les deux cas, elle soit également éloignée de l'angle droit, sa force sera également affoiblie, puisque deux angles qui s'éloignent également tous deux de l'angle droit, l'un en défaut et l'autre en excès, ont le même sinus. Deux angles, l'un de 45 degrés et l'autre de 135 degrés, ont le même sinus.

485. En général, quand, dans une machine composée, plusieurs leviers agissent ensemble, et que les directions des puissances font avec leurs bras de levier des angles égaux, ou également obliques, *la puissance est à la résistance, comme le produit des bras de levier de la résistance est au produit des bras de levier de la puissance,* en raison inverse des vîtesses.

486. Puisque, dans le cas d'équilibre, la puissance est toujours à la résistance, comme la distance de la résistance au point d'appui est à la distance de la puissance au même point d'appui (481), il s'ensuit que la puissance est ou plus grande, ou plus petite, ou égale à la résistance, selon que la distance de la résistance au point d'appui est ou plus grande ou plus petite, ou égale à celle de la puissance. De là on doit conclure, 1°. que, dans le levier du premier genre, la puissance peut être ou plus grande, ou plus petite, ou égale à la résistance; 2°. que, dans le levier du second genre, la puissance est toujours plus petite que la résistance; 3°. qu'elle est toujours plus grande dans le levier du troisième genre; et qu'ainsi ce der-

nier genre de levier, bien loin d'aider la puissance, quant à sa force absolue, ne fait au contraire que lui nuire. Cependant ce troisième genre de levier est celui que la nature a employé le plus fréquemment dans le corps humain (Voyez *Borelli, de Motu Animalium*). Par exemple, quand nous soulevons un poids avec la main, ce poids doit être considéré comme fixé à un bras de levier, dont le point d'appui est dans le coude, et dont par conséquent la longueur est égale à l'avant-bras. Or ce même poids est soutenu en cet état par l'action des muscles, dont la direction est fort oblique à ce bras de levier, et dont par conséquent la distance au point d'appui est beaucoup plus petite que celle du poids (483). Ainsi l'effort des muscles doit être beaucoup plus grand que le poids. Pour rendre raison de cette structure, on remarquera que plus la puissance, appliquée à un levier, est proche du point d'appui, moins elle a de chemin à faire pour en faire parcourir un grand au poids (478). Or l'espace à parcourir par la puissance étoit ce que la nature avoit le plus à ménager dans la structure de notre corps. C'est pour cette raison qu'elle a rendu la direction des muscles fort peu distante du point d'appui : mais elle a dû aussi les faire plus forts en même proportion.

487. Ce que nous avons dit ci-dessus (480), semble être contredit par une machine imaginée par M. *de Roberval*, et que, pour cela, on a appelée *Balance de Roberval*. Elle paroît présenter un paradoxe de mécanique, relativement à la propriété du levier. Voici en quoi consiste ce paradoxe. On attache à une règle fendue A B (*fig.* 72) deux autres règles F C, E D, par le moyen de deux petits bou-

lons, autour desquels ces règles sont mobiles : on attache de même aux extrémités de ces dernières règles deux autres règles F E, C D, aussi mobiles autour des points C, D, etc. par lesquels elles sont attachées : en sorte que le rectangle F C D E puisse prendre telle figure ou telle situation qu'on voudra, comme *f c d e*. Au milieu de la règle F E, ainsi que de la règle C D, on place vis-à-vis l'une de l'autre, deux autres règles H G O, I N P, perpendiculaires et fixement attachées chacune à leur règle. Cela posé, en quelque endroit de ces dernières règles qu'on accroche les poids égaux H, I, ils sont toujours en équilibre, même dans le cas où l'un des poids I seroit placé en P, beaucoup plus près des points d'appui A et B que ne l'est le poids H. Que devient donc, dit-on, cette règle générale (480), que *deux poids égaux opposés sur un levier, ne sont en équilibre qu'à égales distances du point d'appui ?*

488. On rendra aisément raison de cette espèce de paradoxe, si l'on fait attention à la manière dont les poids H, I, agissent l'un sur l'autre. Pour le bien entendre, on décomposera les efforts des poids H, I, (*fig.* 73) chacun en deux, dont l'un, pour le poids H, soit dans la direction H *f*, et l'autre dans la direction H *e*; et dont l'un, pour le poids I, soit dans la direction I C, et l'autre dans la direction I D. Or, l'effort I C se décompose encore en deux efforts C *n* et C Q; et de même l'effort I D se décompose en deux efforts D *n* et D O. Donc la règle C D est tirée dans la direction C D, par une force égale à C *n* plus *n* D, tandis que les efforts C Q et D O se détruisent mutuellement. On trouvera de même que la règle *f e* est tirée, dans la direction *f e*, par une force égale à *f g*

plus *g e*. Donc, puisque B C est égale à B *f*, et que C D est égale et parallèle à *f e*, les deux efforts, suivant C D et *f e*, doivent se faire équilibre.

489. C'est là ce que l'on appelle la *décomposition des forces*, très en usage dans la statique et dans la mécanique. Dans cette décomposition, les directions et les valeurs des deux forces, par exemple, C *n* et C Q, dans lesquelles on décompose la force donnée C I, sont représentées par les deux côtés C *n*, C Q, d'un parallèlogramme C *n* I Q, dont la diagonale C I représente la direction et la valeur de la puissance donnée.

490. Le point d'appui, dans le levier, peut être regardé comme une troisième puissance qui fait équilibre à la force motrice et à la résistance, ou qui concourt avec l'une des deux pour soutenir l'effort de l'autre.

491. Dans les leviers du premier genre (477), le point d'appui C (*fig.* 74), qui se trouve alors placé entre la puissance D et la résistance E, porte l'effort absolu de ces deux forces, lorsque les directions D A et E B de ces forces sont parallèles entr'elles; et l'effort qui se fait alors sur le point d'appui C, se fait dans une direction C I parallèle à celles de ces forces. Mais, si les directions I Q (*fig.* 75) de la puissance, et K N de la résistance sont inclinées l'une à l'autre, le point d'appui L est chargé d'une quantité moindre que la somme totale des deux forces, et d'une quantité d'autant moindre, que cette inclinaison est plus grande; et l'effort qui se fait alors sur le point d'appui L, se fait dans une direction L M qui tend au point de concours M des directions des puissances.

492. Il en seroit de même, si les puissances *f* et *g* (*fig.* 76) étoient en équilibre entr'elles par inégalité de distance au point d'appui H, c'est-à-dire, dans les cas où leurs masses seroient en raison inverse de lenrs distances *f*H et *g*H au point d'appui (481). La charge, sur ce point d'appui, ne seroit jamais plus grande que la somme réelle des deux forces, ou la somme des masses opposées : elle seroit égale à cette somme, si les directions des puissances étoient parallèles entr'elles; mais elle seroit moindre que cette somme, si ces directions *ec*, *ec*, étoient inclinées l'une à l'autre; et alors l'effort sur le point d'appui H se feroit dans une ligne H I, qui tendroit au point de concours I de ces directions. Si, dans ce cas-là, le point d'appui n'est jamais plus chargé que la somme réelle des masses opposées, quoique la petite masse produise un aussi grand effort que la grande, cela vient de ce que cette petite masse ne produit un aussi grand effort que parce qu'elle a plus de vîtesse : or, la vîtesse ne pèse point.

493. Dans les leviers du second et du troisième genre (477), le point d'appui ne porte qu'une partie de l'effort de l'une des deux forces; c'est-à-dire, qu'il concourt avec la puissance dans les leviers du second genre, ou avec la résistance dans les leviers du troisième genre, pour porter l'effort de l'autre, comme lorsque deux hommes portent un fardeau, au moyen d'un bâton appuyé sur leurs épaules. Ces deux hommes, dont l'un peut être regardé comme la puissanée, et l'autre comme le point d'appui, ne portent chacun qu'une partie du fardeau. Et celui des deux qui est le plus près du fardeau, en porte une plus grande portion, et cela dans le rapport de cette proximité.

De

De la Poulie.

494. La poulie, l'une des six machines réputées simples (*fig.* 77), est un corps rond, plat, mobile sur son axe C, et dont la circonférence *c g* (*fig* 78) est creusée en gorge pour recevoir la corde FBAR, ou EOAR, ou GHOAR (*fig.* 77) à laquelle on applique d'une part la puissance F ou E ou G, et de l'autre part la résistance R. On creuse la gorge *c g* (*fig.* 78), non pas en rond, mais en angle, comme on le voit dans la figure, afin que la corde, étant en quelque façon pincée dans cet angle, ne glisse pas sur la gorge.

495. On fait ordinairement les poulies de bois ou de métal, et on les fait tourner sur leur axe A *a* : il vaudroit mieux, sur-tout si elles sont de bois, fixer l'axe à la poulie, et faire tourner le tout ensemble dans les trous de la chape A D *a* qui soutient la poulie. Le mouvement se faisant alors sur moins de surface, il y auroit moins de frottemens : et si les trous de la chape venoient à s'agrandir, comme il n'y a que la partie inférieure qui reçoit l'effort, le trou s'allongeroit, la poulie descendroit un peu, mais elle n'en tourneroit pas moins rondement ; ce qui n'arrive pas lorsque la poulie, tournant sur son axe, le trou qui reçoit l'axe s'agrandit, et souvent pas également dans tous les sens.

496. La poulie est une machine, au moyen de laquelle on peut élever des fardeaux d'une manière ou plus commode ou plus avantageuse : plus commode, en rendant le mouvement continu, et en changeant la direction du mouvement, pour mettre dans toute sa force la puissance qui agit ; de sorte

que, par-là, un cheval qui ne peut agir qu'horizontalement, peut vaincre une résistance verticale : plus avantageuse, en faisant enlever un grand poids avec une force moindre. En effet, au moyen d'une poulie, 1°. la puissance peut tirer en toutes sortes de direction, sans rien perdre de son avantage, parce que la corde par laquelle elle agit, est toujours tangente à la circonférence de la poulie, et par conséquent toujours perpendiculaire au rayon CH, ou CB ou CO (*fig.* 77); ce qui est la direction la plus avantageuse (482). 2°. Comme les puissances qu'on y applique, agissent d'autant plus fortement que leur distance à l'axe est plus grande, en se servant d'une poulie qui ait plusieurs gorges (*fig.* 79), ou en enfilant sur le même axe plusieurs poulies de différens diamètres; celle des puissances qui agira à une plus grande distance de l'axe *c*, aura de l'avantage sur l'autre. Ainsi, si l'on suppose en I un poids de six kiliogrammes, il faudra en H six kiliogrammes pour le soutenir, parce que les rayons *c d* et *c* 1 sont égaux. Mais il ne faudroit que trois kiliogrammes en K, car le rayon *c* 2 est double du rayon *c d;* et il ne faudroit que 2 kiliogrammes en L, parce que le rayon *c* 3 est triple du rayon *c d.*

Dans tous ces cas, la poulie fait l'office de levier du premier genre (477); car on peut la considérer comme un assemblage de leviers fixes, dont le point d'appui commun est au centre. Tous ces leviers ont des bras égaux dans les poulies à une seule gorge (*fig.* 77), et ils ont des bras inégaux dans les poulies à plusieurs gorges (*fig.* 79). Toutes ces poulies sont fixes.

497. Nous venons de dire (496) qu'au moyen

d'une poulie à plusieurs gorges (*fig.* 79), on peut rendre égales les actions de deux puissances inégales entr'elles : on peut de même entretenir l'équilibre ou un rapport constant entre deux puissances dont les forces relatives changent continuellement. Pour cela on peut se servir d'une poulie, qui, au lieu de plusieurs gorges concentriques, n'en a qu'une, mais qui prend la forme d'une spirale, et conséquemment augmente peu-à-peu de diamètre, selon la proportion suivant laquelle augmente l'intensité de l'une des deux forces. Qu'on prenne, par exemple, une poulie A (*fig* 80), dont la gorge soit creusée en spirale, et dont on voit la coupe en *gabc* et le plan en *de* 4 : qu'on fixe au centre de cette poulie un barillet *e* ou E garni d'un ressort pareil à celui d'une montre. Si la force de ce ressort est telle qu'une puissance quelconque, un poids, par exemple, agissant par DE, le tienne en équilibre, lorsqu'on aura roulé le ressort de trois ou quatre tours de plus, le même poids le tiendra encore en équilibre en agissant par *g* F, si le rayon EF est alongé dans la proportion de l'augmentation d'intensité de la force du ressort. Ce que l'on dit de ce point F, on peut le dire de tous les autres. D'où il suit que ces deux puissances, le ressort et le poids, garderoient toujours entr'elles le même rapport, quoique l'intensité de l'une des deux variât continuellement. C'est là le moyen que l'on a pris, en horlogerie, pour rendre uniforme l'action des ressorts des montres et des pendules pendant tout le temps de leur développement.

498. L'axe C (*fig.* 77) d'une poulie simple ne peut jamais être chargé d'une plus grande force que celle qui est égale à la somme des deux puissances

F et R, et il peut n'être chargé que d'une quantité moindre. Lorsque les directions BF et AR des deux puissances sont parallèles, c'est-à-dire, lorsque la corde embrasse la moitié de la circonférence de la poulie, l'axe est chargé d'une force égale à la somme de celles des deux puissances. Mais si les directions EO et RA de ces deux puissances sont obliques entr'elles, l'axe n'est chargé que d'une force moindre que la somme de celles des deux puissances ; et, dans ce cas-là, *la force dont l'axe est chargé, est à la somme des forces des deux puissances comme la soutendante* AO *de l'arc embrassé par la corde est au diamètre* AB. Et l'effort se fait alors sur l'axe C, dans une direction qui, passant par C, tend au point de concours des directions EO et RA des deux puissances.

499. Et dans tous ces cas la force F doit être égale à la résistance R pour avoir équilibre. D'où il suit que la poulie simple n'aide point la puissance, et ne lui nuit pas non plus. Elle est seulement propre, comme nous l'avons dit ci-dessus (496), à conserver la puissance dans sa direction la plus avantageuse, à changer la direction du mouvement, et à rendre ce mouvement continu.

500. On peut aussi considérer la poulie comme levier du second genre (477) : elle en a effectivement les propriétés, lorsque la résistance R (*fig.* 81) est attachée à la chape *c i*, et qu'un des bouts de la corde, qu'on fait passer alors par-dessous la poulie, est attaché au point fixe *a*, pendant que l'autre est tiré ou soutenu par la puissance *d*. Alors la poulie est mobile, et est elle-même enlevée avec le fardeau. Elle représente donc un levier du second genre *b e*, dont

le point d'appui est en *b*, et qui est partagé en deux parties égales *b c*, *c e*, par la direction c I de la résistance R. C'est pourquoi, dans ce cas-là, la puissance *d* n'a besoin d'être que la moitié de la résistance R pour la tenir en équilibre. Et si le fardeau est enlevé, la puissance *d* fait un chemin double de celui de la résistance R, et a par conséquent une vîtesse double. Car supposons que le centre *c* de la poulie est porté au point *h*, alors il ne reste au-dessous de la ligne *d a* que la portion de corde qui passe sous la poulie : les deux portions *b a* et *e d*, ou leurs équivalentes, sont donc passées au-dessus; mais *b a* et *e d*, qui marquent l'espace parcouru par la puissance, sont, prises ensemble, doubles de *c h*, espace parcouru par la poulie. Donc la puissance a une vîtesse double de celle de la résistance. Dans le cas présent, la corde embrasse la moitié de la circonférence de la poulie, et les directions des deux puissances sont parallèles. Le bras de levier de la puissance est donc le diamètre *e b* de la poulie, et celui de la résistance n'en est que le rayon *c b*. C'est pourquoi, pour avoir équilibre, *il faut que la puissance soit à la résistance, comme le rayon est au diamètre.*

501. Mais si les directions des puissances étoient obliques entr'elles; si, par exemple, un des bouts de la corde étoit attaché au point fixe *g*, pendant que l'autre seroit tiré ou soutenu par la puissance P, elle représenteroit encore un levier du second genre *m l*, dont le point d'appui seroit en *m*, et qui seroit partagé en deux parties égales *m i*, *i l*, par la direction c I de la résistance. Alors *la puissance* P *devroit être à la résistance* R, *comme le rayon* c b *est à la soutendante* l m *de l'arc embrassé par la corde.* Cela

pourroit être tellement oblique, que cela exigeroit une puissance plus grande que la résistance.

502. Si au lieu de tirer de bas en haut, on trouve plus commode de tirer de haut en bas, on ajoutera, au-dessus de la poulie mobile *m* (*fig.* 82), une poulie fixe *n*, qui ne changera rien à la valeur de la puissance (499). Et si la puissance n'étoit pas assez forte pour enlever le fardeau, on ajouteroit encore une seconde poulie mobile, et une autre poulie fixe (*fig.* 83), ou même un plus grand nombre. La puissance acquerroit par-là beaucoup de valeur. Ce sont ces assemblages de poulies, dont les unes sont fixes et les autres mobiles, et toutes embrassées par une même corde, que l'on appelle *Moufles*, et en terme de marine, *Palans*, *Caliornes*. Les poulies fixes 2 et 4 sont toutes portées par une même chape, et les poulies mobiles 1 et 3 par une autre chape. La partie inférieure M de la chape qui porte les poulies fixes, sert de point fixe pour un des bouts de la corde; et c'est à la partie inférieure R de la chape qui porte les poulies mobiles, que l'on accroche le fardeau.

503. On peut, au moyen de ces assemblages enlever de très-grands fardeaux avec une petite force; car il est démontré que *la force nécessaire pour soutenir un poids*, par le moyen d'une moufle, *est au poids lui-même, comme l'unité est au double du nombre des poulies mobiles*, lorsque les directions des cordes sont bien parallèles entr'elles : les puissances sont alors, comme nous l'avons dit ci-dessus, (500), en raison inverse des vîtesses.

504. D'où il suit que le nombre des poulies mobiles et la puissance étant donnés, on trouve aisément le

poids que la moufle pourra soutenir, en multipliant la puissance par le double du nombre des poulies mobiles. Par exemple, supposons que la puissance égale 60 kiliogrammes, et que le nombre des poulies mobiles soit trois : 60 multipliés par 6, double de 3, égale 360, qui est le poids que peut soutenir cette moufle.

505. De même le nombre des poulies mobiles étant donné, ainsi que le poids que doit soutenir la moufle, on trouvera la puissance nécessaire, en divisant le poids par le double du nombre des poulies mobiles. Supposons donc que le poids égale 800 kiliogrammes, et que le nombre des poulies mobiles soit 4 : 800 divisés par 8, double de 4, donnent au quotient 100 kiliogrammes, qui est la force nécessaire pour soutenir, avec une pareille moufle, le poids de 800 kiliogrammes.

506. Pour trouver le nombre des poulies mobiles que doit avoir une moufle, afin de soutenir un poids donné avec une puissance donnée, il faut diviser le poids par la puissance : la moitié du quotient est le nombre cherché. Supposons, par exemple, que le poids soit 500 kiliogrammes, et la puissance 50 : il faut que la moufle ait 5 poulies mobiles ; car 500 divisés par 50, donnent 10 au quotient, dont la moitié est 5.

507. Dans tous ces cas, nous avons supposé (503) que les directions des cordes sont parallèles entr'elles. Si elles sont obliques, alors *la résistance ou le fardeau à soutenir est à la puissance, comme la somme des sinus des angles que les cordes tangentes aux poulies mobiles font avec l'horizon, est au sinus total.* Il faut donc, dans ce cas-là, que la puissance soit plus grande

que nous ne l'avons dit. C'est pourquoi il faut faire en sorte que les directions des cordes soient bien parallèles entr'elles.

508. Pour empêcher le frottement des cordons les uns contre les autres, ce qui occasionneroit une grande résistance et useroit la corde, on est contraint d'employer, dans la même moufle, des poulies de diamètres de plus petits en plus petits; ce qui est un inconvénient, à cause de la roideur de la corde (576). Il vaut donc mieux placer les poulies de chaque moufle, la supérieure et l'inférieure, parallèlement entr'elles, en les plaçant dans une chape commune, et les faisant traverser par un boulou commun, comme on le voit *fig.* 84. Là, toutes les poulies sont de diamètres égaux. Ces sortes de moufles sont fort en usage, sur-tout dans les vaisseaux. Les cordons n'y sont pas exactement parallèles; mais ce défaut est peu considérable.

509. Dans les calculs précédens (503 *et suiv.*) nous avons fait abstraction de la résistance des frottemens, et de celle qui naît de la roideur et du poids des cordes (572 *et suiv.*), pour lesquelles il faut augmenter la puissance et la rendre plus grande que nous ne l'avons supposée. Il peut même arriver qu'en augmentant le nombre des poulies, on augmente tellement ces résistances, qu'elles fassent plus que compenser l'augmentation de force qui résulte de l'augmentation du nombre des poulies.

Des Roues.

510. Les roues, de même que les poulies, peuvent être considérées comme des assemblages de leviers. Il y en a de deux espèces : les unes tournent toujours

dans le même lieu sur un axe qui est fixé à leur centre, et dont les pivots tournent dans des trous qui servent d'appui : telles sont les roues des horloges, des moulins, des tournebroches, etc. Ces sortes de roues reçoivent le mouvement ou le transmettent par certaines parties saillantes qu'on réserve ou qu'on ajoute à leur circonférence, et que l'on nomme *dents*, *chevilles*, *vannes*, etc. Les roues de l'autre espèce, roulant sur leur circonférence, portent leur centre et l'axe ou l'essieu qui le traverse, dans une direction parallèle au plan ou au terrein qu'elles parcourent : telles sont les roues des voitures, comme carrosses, charrettes, etc. Ces sortes de roues ont donc deux mouvemens; l'un de leur centre qui s'avance en ligne droite, et l'autre, de toutes leurs parties qui circulent autour de ce centre.

511. Quand il s'agit des roues de la première espèce, on place ordinairement sur un même arbre ou axe une grande roue et une petite roue, autrement nommée *pignon*, dont les dents ou les ailes engrènent avec les dents d'une autre grande roue. Dans les grandes machines on substitue souvent aux pignons, et pour en tenir lieu et en faire l'office, des *lanternes*, qui ne sont autre chose que des cylindres ou fuseaux parallèles entr'eux et assemblés en rond entre deux plateaux. Alors les dents de la roue engrènent avec les fuseaux de la lanterne, comme elles feroient avec les ailes d'un pignon. Le mécanisme revient absolument au même dans les deux cas : ainsi il suffit d'examiner l'engrenage des roues et des pignons.

512. Les roues de la première espèce (510), celles dont les axes ne font que tourner dans le même lieu, doivent être considérées comme des leviers du pre-

mier genre (477), dont les bras sont les rayons des roues et des pignons, et qui ont leur point d'appui à l'axe. Soient donc trois roues A, B, C (*fig.* 85), et leurs pignons correspondans *a*, *b*, *c*. Le pignon, ou, ce qui est la même chose, le cylindre *a* soutient un poids P; la roue A, qui a le même arbre que le cylindre *a*, engrène avec le pignon *b*; la roue B, qui a le même arbre que le pignon *b*, engrène avec le pignon *c*; la roue C, qui a le même arbre que le pignon *c*, est tiré à sa circonférence par la puissance Q : et tout le système est en équilibre. On voit qu'ici le poids P agit par les rayons des pignons, et que la puissance Q agit par les rayons des roues. Supposons que les rayons des roues sont quadruples des rayons des pignons; que les premiers sont, par exemple, de 216 millimètres (8 pouces) et les autres de 54 millimètres (2 pouces). Comme il faut, pour avoir l'équilibre, que *la puissance soit à la résistance, comme le produit des bras de levier de la résistance est au produit des bras de levier de la puissance* (485), c'est-à-dire, en raison inverse de la longueur des bras de levier, on cherchera ces produits, en multipliant les uns par les autres et les rayons des roues, et les rayons des pignons. Le premier produit sera 512 (10077696), et le second 8 (157464); auquel cas la puissance Q doit être au poids P, comme 8 (157464) est à 512 (10077696), ou comme 1 est à 64.

513. D'où il suit qu'en cas d'équilibre, et quels que soient les diamètres des roues et des pignons, *la puissance est à la résistance, comme le produit des rayons des pignons est au produit des rayons des roues.* On voit par-là que ces sortes de machines peuvent donner un très-grand avantage à la puissance

sur la résistance, relativement à la force. Mais cet avantage est acquis aux dépens de la vîtesse, lorsque la machine passe du repos au mouvement. Car on perd toujours en vîtesse ce que l'on gagne en force, et réciproquement.

514. On a souvent besoin, sur-tout dans l'horlogerie, que les nombres des révolutions des roues et des pignons aient entr'eux un certain rapport. On l'obtiendra en donnant aux roues et aux pignons les nombres convenables de dents et d'ailes: par exemple, si l'on veut qu'une roue ne fasse qu'une révolution pendant qu'un pignon en fait quatre, il faudra donner à la roue quatre fois autant de dents que le pignon a d'ailes. Ainsi, si nous supposons quatre roues A, B, C, D, (*fig.* 86), dont la première A engrène avec le pignon *b* fixé à la seconde B; celle-ci engrène avec le pignon *c* fixé à la troisième C; cette troisième engrène avec le pignon *d* fixé à la quatrième D; enfin cette quatrième engrène avec le dernier pignon *e:* pour avoir le rapport du nombre des révolutions de la première roue A au nombre des révolutions du dernier pignon *e*, il faut multiplier le nombre des dents de la roue A, par le nombre des dents de la roue B; ce premier produit par le nombre des dents de la roue C; et le second produit par le nombre des dents de la roue D : il faut ensuite multiplier le nombre des ailes du pignon *b* par le nombre des ailes du pignon *c;* ce premier produit, par le nombre des ailes du pignon *d;* et le second produit, par le nombre des ailes du dernier pignon *e :* les derniers produits des dents des roues et des ailes des pignons, donneront le rapport cherché.

515. On peut donc établir, pour règle générale,

que *le nombre des révolutions de la première roue* A, *est au nombre des révolutions du dernier pignon, comme le produit des ailes des pignons est au produit des dents des roues.* On voit par-là qu'il n'est point nécessaire de déterminer les nombres d'ailes et de dents que chaque pignon et chaque roue doit avoir en particulier : il suffit que le rapport du produit de toutes les ailes, au produit de toutes les dents, soit le même que celui que l'on desire.

516. Au moyen des roues de cette espèce, on peut transmettre au loin l'action d'une puissance, changer la direction du mouvement, et faire varier la vîtesse dans l'une ou l'autre des puissances. 1°. Si, au lieu d'appliquer le pignon D (*fig.* 87) immédiatement sur la roue H, on fixe ce pignon D à l'autre extrémité de l'axe prolongé, tant qu'il en sera besoin, de cette manière l'action de la puissance qui agira par la manivelle G, se pourra transmettre à une certaine distance par le moyen du pignon D fixé à l'extrémité de l'axe.

2°. Si ce pignon D engrène avec une autre roue E, qui ait des dents parallèles à son axe, le mouvement qui lui sera transmis changera de direction, et deviendra horizontal, de vertical qu'il étoit.

517. 3°. Enfin, si la roue E a quatre fois autant de dents que le pignon D a d'ailes; comme ce pignon ne peut se mouvoir sans la roue verticale H, il faut que l'un et l'autre fassent quatre tours pour en faire faire un à la roue horizontale E; et réciproquement, si l'on fait faire une révolution à celle-ci, on en fera faire quatre au pignon D et à la roue verticale H. Si l'on suppose donc à chacune des deux grandes roues H et E

une manivelle G ou F menée par un homme qui lui fasse faire une révolution dans une seconde, la vîtesse sera quatre fois aussi grande, lorsqu'il agira par la manivelle F, que s'il agissoit par la manivelle G. Il est vrai qu'alors il lui faudra employer quatre fois autant de force, parce qu'on perd toujours en force ce qu'on gagne en vîtesse; et réciproquement, on perd toujours en vîtesse ce qu'on gagne en force. La liberté de choisir est une chose avantageuse.

518. Quant aux roues de la seconde espèce (510) qui ont deux sortes de mouvement, comme celle des voitures, dont le centre s'avance en ligne droite, pendant que les autres parties tournent autour de lui, on doit les regarder le plus souvent comme un levier du second genre, qui se répète autant de fois qu'on peut imaginer de points à la circonférence. Car chacun de ces points est l'extrémité d'un rayon C M (*fig.* 88) appuyé d'une part sur le terrein M; et l'autre bout C, chargé de l'essieu qui porte la voiture, est en même temps tiré par la puissance P qui la mène. De sorte que si le plan étoit parfaitement uni et de niveau, si la circonférence des roues étoit bien ronde et sans inégalités, s'il n'y avoit aucun frottement de l'axe au moyeu, et si la direction de la puissance demeuroit toujours bien parallèle au plan, une petite force mèneroit une charrette très-pesante; car la résistance, qui vient de son poids, repose entièrement sur le terrein par le rayon C M, ou par un semblable qui lui succède l'instant d'après.

519. Mais de toutes les conditions que nous venons de supposer, et dont le concours seroit nécessaire pour produire cet effet, à peine s'en rencontre-t-il quelqu'une dans l'usage ordinaire. Les roues des char-

rettes sont grossièrement arrondies, et garnies de gros clous : les chemins sont naturellement inégaux, ou ils le deviennent par le poids de la voiture qui les enfonce : ces inégalités, soit des roues, soit du terrein, font que la roue s'appuie par un rayon C Q ou C N oblique à la direction C P de la puissance, ou à la direction C M de la résistance. Le poids qui réside en C, résiste donc à la puissance, qui ne peut le faire avancer qu'en le faisant monter autant que le point Q ou N est au-dessus du point M. La puissance est donc alors obligée de soutenir une partie du poids de la voiture, comme si elle étoit placée sur un plan incliné. D'ailleurs, quand les circonférences rouleroient sur des surfaces parfaitement unies, droites et dures, il se fait indispensablement, de l'essieu aux moyeux, un frottement considérable.

520. Les creux et les hauteurs qui se rencontrent dans les chemins, changent aussi la direction de la puissance. Un cheval placé plus bas ou plus haut, par la disposition du terrein, au lieu de faire son effort par la ligne C P, parallèle à la portion du plan qui porte naturellement les roues, le fait assez souvent par C S ou C R, c'est-à-dire, obliquement à la direction C M de la résistance, et par conséquent avec désavantage; car une charrette qui se meut assez facilement par la force d'un seul cheval sur un terrein horizontal, a souvent besoin de plusieurs chevaux pour être tirée sur un plan qui va tant soit peu en montant.

521. En général, pour tirer un fardeau sur un terrein inégal et raboteux, comme ils le sont presque tous, il est plus avantageux, ainsi que l'ont prouvé *Stevin*, *Wallis* et *Deparcieux*, de tirer un peu en en-

haut, comme par la ligne C R; il faut donc que l'axe des roues soit un peu plus bas que la poitrine des chevaux : cela fait que la direction de la puissance approche davantage du parallélisme à chacun des petits plans inclinés que forment les inégalités du terrein.

522. Mais, s'il n'est pas possible de se mettre absolument au-dessus de toutes ces difficultés, on peut cependant les prévenir en partie, en employant de grandes roues plutôt que des petites. Car il est certain que les petites roues s'engagent plus que les grandes dans les creux du terrein, comme on le peut voir par la *fig.* 89, où le rayon *c q* de la petite roue, qui porte contre le terrein lorsqu'il s'agit de sortir du trou, est beaucoup plus oblique à la direction *c p* de la puissance, que ne l'est le rayon C *q* de la grande roue à la direction C P. De plus, comme la circonférence, d'une grande roue mesure, en roulant, plus de chemin que celle d'une petite, elle tourne moins vîte, ou elle fait un moindre nombre de révolutions, pour parcourir un espace donné; ce qui épargne une partie des frottemens.

Du Treuil.

523. Le treuil ou tour, l'une des six machines réputées simples, est un arbre ou cylindre qui tourne sur son axe soutenu sur deux points fixes; au moyen duquel, avec une petite force, on enlève un grand fardeau attaché à une corde, qui s'enveloppe sur le cylindre; et cela par le moyen d'une espèce de tambour fixé à une des extrémités du cylindre, et portant assez souvent à sa circonférence des espèces de chevilles ou leviers.

524. Dans l'usage ordinaire, au lieu de tambour, on ne fait que fixer, à l'une des extrémités du cylindre A B (*fig.* 90) des leviers croisés E F, G H, par le moyen desquels on fait tourner le cylindre sur son axe C D, tandis que la corde, qui soutient le poids *a*, s'enveloppe sur le cylindre A B. Il est aisé de voir que l'effet du treuil revient à celui d'un levier du premier genre. Car supposons que *h g* (*fig.* 91) représente le rayon du cylindre; et que *h* P représente le bras de levier par lequel agit la puissance P; si la longueur de *h* P est à celle de *h g* comme 3 est à 1, une puissance de 100 kiliogrammes en P, agissant dans une direction perpendiculaire à P *h*, tiendra en équilibre un poids G de 300 kiliogrammes (481).

525. Il suit de-là que, pour avoir l'équilibre par le moyen du treuil, il faut que *la puissance* P *soit au poids* G, *comme le rayon* h g *du cylindre, est au levier* h P; ou ce qui revient au même, *comme le rayon du cylindre est au rayon du tambour.* Ainsi, si, dans l'état d'équilibre, la puissance est moindre que le poids, et cela, dans le rapport du rayon du cylindre à celui du tambour, aussi, dans l'état de mouvement, la puissance va plus vîte que le poids, et cela dans le rapport du rayon du tambour à celui du cylindre. Cette règle suppose que la puissance est toujours perpendiculaire au rayon par lequel elle agit; car la direction du poids est toujours perpendiculaire au rayon du cylindre, puisque la corde qui le soutient, est toujours tangente à sa circonférence.

526. Dans les grands efforts, comme il faut que les bras du levier de la puissance soient très-longs, et qu'on ne pourroit pas, vu leur longueur, atteindre l'extrémité de l'un pendant qu'on tiendroit l'extré-

mité

mité de l'autre ; que d'ailleurs on ne pourroit pas les multiplier assez, sans affoiblir considérablement la tête du cylindre ; on a pris le parti de réunir les extrémités de ces rayons par une circonférence à laquelle on adapte des chevilles, par lesquelles les hommes agissent, comme on le voit dans la roue des carrières (*fig.* 92) et dans la grue (*fig.* 93).

527. D'après ce que nous venons de dire, il est aisé de voir que la principale partie, dans la roue des carrières et dans la grue, n'est autre chose qu'un treuil à tambour. On voit aussi que dans la chèvre (*fig.* 94) le cylindre ED est un treuil à leviers G et F.

528. Dans la roue des carrières et dans la grue, les hommes agissent communément par leur poids. Mais comme ils ne peuvent pas se tenir à l'extrémité du rayon horizontal, ce qui seroit le plus avantageux, puisque la direction de leur poids, qui est verticale, y seroit perpendiculaire, et que le poids de leur corps les retient plus bas ; alors, pour avoir équilibre, il faut que *leur poids soit au fardeau qu'ils soutiennent, comme le rayon du cylindre est au sinus de l'angle que fait la direction verticale avec le rayon de la roue à l'extremité duquel ils agissent*, dans la même raison que l'effort d'une puissance agissant obliquement à l'extrémité d'un bras de levier (485).

Si la corde qui soutient le fardeau vient à casser, le danger est très-grand pour les hommes qui sont appliqués à la roue : car, du moment où la corde casse, leur poids les fait tourner avec vîtesse, et ils prennent une force centrifuge qui les entraîne dans la tangente, et ils courent le risque de se tuer. On pourroit prévenir cet inconvénient avec une grue

mue par une vis sans fin. Supposons que cette vis ait 3 filets, et qu'elle engrène un pignon de 18 ailes, la vis fera 6 tours pour en faire faire un au pignon. Sur l'axe de ce pignon est une lanterne de 4 fuseaux, qui engrène une roue de 24 dents, portée sur l'arbre. Le pignon fait donc 6 tours pour en faire faire un à la roue, et par conséquent à l'arbre. Ainsi la vis sans fin fait 36 tours pendant que l'arbre en fait un. Si la circonférence que décrit l'extrémité du bras de la manivelle par laquelle on fait tourner la vis sans fin, est à la circonférence de l'arbre comme 90 est à 45; donc la vîtesse de la puissance (qui est 36 fois l'espace que parcourt à chaque tour l'extrémité du bras de la manivelle) est à celle de la résistance (qui est la circonférence de l'arbre) comme 3240 est à 45, ou comme 72 est à 1, ou comme 2160 est à 30. Or un homme peut, au moins pour un peu de temps, faire un effort de 30 kiliogrammes: il pourroit donc à lui seul enlever 2160 kiliogrammes. En effet, j'ai vu un homme seul enlever, par le moyen d'une pareille grue, un poids d'environ 2448 kiliogrammes (5000 livres). De plus, on peut appliquer à une pareille grue deux hommes, ou même plus, et vaincre par-là, de très-grands efforts. Il se trouve encore là un autre avantage; c'est qu'on peut arrêter et se reposer quand on veut, sans craindre que le fardeau descende.

Du Cabestan.

529. Le cabestan est un véritable treuil: il n'en diffère que par la position de son cylindre, qui est vertical, tandis que dans le treuil il est horizontal. La manière dont une puissance agit sur une résis-

tance, par le moyen du treuil (525), est entièrement applicable au cabestan. Mais le cabestan est beaucoup plus avantageux que le treuil; 1°. parce que la puissance peut toujours agir perpendiculairement à son bras de levier; 2°. parce qu'on peut y appliquer un grand nombre d'hommes à la fois.

530. Le cabestan est donc une machine au moyen de laquelle on peut vaincre de très-grandes résistances avec des puissances beaucoup moindres. Aussi s'en sert-on sur les vaisseaux, pour lever les ancres ou autres fardeaux, auxquels sont amarrés les cables que l'on roule sur le cylindre. On s'en sert encore dans les ports pour amener les vaisseaux à terre, quand il en est besoin, et pour faire passer d'un bateau sur le port des masses extrêmement lourdes, comme des blocs de marbre ou de pierre.

531. La manière ordinaire de se servir du cabestan, est de faire faire sur le cylindre AB (*fig.* 95) deux ou trois tours à la corde CD, qui tient la résistance vers D, tandis que des hommes tirent de toutes leurs forces la partie C de la corde, pour empêcher qu'elle ne glisse: car alors le frottement de la partie de la corde qui est roulée autour du cylindre est si considérable, que, quoique le poids de la résistance surpasse de beaucoup la force des hommes qui tiennent la corde, il ne peut cependant la surmonter, ni faire glisser la partie de la corde roulée autour du cylindre. Si l'on applique ensuite des hommes aux leviers E, F, G, H, et que ces hommes fassent tourner le cylindre, ils amènent la résistance; et pendant ce temps-là, ceux qui tirent la partie C de la corde, la devident; de sorte qu'il n'en reste jamais sur le cylindre plus de tours qu'on ne lui en avoit d'abord fait

faire ; car un côté ne peut pas se rouler que l'autre ne se déroule.

532. Il est aisé de voir que le cabestan agit comme un levier sans fin du premier ou du second genre à bras inégaux (477), et que le bras de la résistance est beaucoup plus court que celui de la puissance. Car le bras de levier par lequel agit la résistance, est le rayon du cylindre; et le bras de levier par lequel agit la puissance, est ce même rayon prolongé par un des leviers en croix E, F, G, H. Plus ces leviers seront longs, plus la puissance deviendra capable de vaincre une grande résistance; mais il lui faudra plus de temps, parce qu'elle aura un plus long chemin à parcourir. Supposons *g k* (*fig.* 91) le diamètre du cylindre, dont le centre est en *h*; *h g*, rayon de ce cylindre, est le bras de levier par lequel agit la résistance G; *h* P ou *h p*, rayon prolongé, est le bras de levier par lequel agit la puissance P ou *p*. Si donc *h g* est à *h* P comme 1 est à 10, un effort de 100 kiliogrammes en P pourra tenir en équilibre une résistance de 1000 kiliogrammes en G.

533. Il y a ordinairement sur les vaisseaux deux sortes de cabestans; savoir, un grand, qu'on nomme *cabestan double*, et un petit, qui est le cabestan ordinaire. Le cabestan double est placé sur le premier pont, et s'élève jusqu'à quatre ou cinq pieds au-dessus du second pont. Il est destiné à produire les plus grands efforts, comme à lever l'ancre, etc. Le petit cabestan est posé sur le second ou le troisième pont, entre le grand mât et le mât de misaine; et il sert à hisser le mâts de hune et les grandes voiles.

534. Lorsque le cable auquel est attachée la résis-

tance est trop gros pour pouvoir être roulé sur l'arbre ou cylindre du cabestan, tel que celui qui sert à lever les ancres des gros vaisseaux, on se sert d'un cordage médiocrement gros, nommé *tournevire*, auquel on fait faire deux ou trois tours sur l'arbre du cabestan, et dont on joint ensuite les deux bouts ensemble, de façon qu'un côté ne puisse se rouler sans que l'autre se déroule. A ce tournevire on attache, par le moyen de petites cordes, qu'on appelle *garcettes*, le gros cable qui tire l'ancre.

535. Il y a, dans l'usage du cabestan, plusieurs inconvéniens qu'on n'a encore pu corriger, malgré toutes les peines qu'on a prises, et tous les savans qui s'en sont occupés. Si l'on se sert du tournevire, les garcettes, qui y tiennent le cable attaché, sont bientôt hors d'usage : il faut les défaire pour les remettre plus loin, ce qui fait perdre un temps souvent précieux. Mais le plus grand inconvénient est que le cordage qui enveloppe et se dévide sur le cylindre, descend à chaque tour de tout son diamètre, et par-là arrive jusqu'au bout du cylindre. Pour éviter qu'il ne se croise et qu'il ne s'embarrasse, il faut le rehausser; c'est ce qu'on appelle *choquer :* opération qui est d'autant plus fréquente, que le cordage est plus gros et le cylindre plus court. Mais, à chaque fois qu'on choque, il faut arrêter le mouvement de la machine; prendre des bosses sur le cordage, pour empêcher que la résistance ne l'emporte; dériver le cabestan pour mollir la partie du cordage qui est sur le cylindre; relever le cordage, le roidir de nouveau, et enfin ôter les bosses pour remettre le cabestan en jeu. Tout cela demande beaucoup de temps et de travail.

Il y a peu de machines sur lesquelles les mécaniciens se soient plus exercés que sur les cabestans, principalement dans l'intention de faire disparoître l'inconvénient de *choquer*, qui est, en effet, le plus grand de tous. On trouve quelques améliorations dans la construction du cabestan, dans les pièces qui ont remporté le prix de l'Académie des Sciences en l'année 1742; mais le but qu'on s'étoit proposé n'a pas été rempli. Depuis on a présenté à l'Académie un cabestan dont le cylindre étoit garni de roulettes qui, en tournant, faisoient remonter à la fois tous les tours du cordage. Mais ce moyen, dont l'idée est d'ailleurs fort ingénieuse, produit un grand frottement, qui est toujours aux dépens de la force motrice. En 1793, *Cardinet*, ingénieur-mécanicien, présenta au bureau de consultation un cabestan dont la construction est plus simple, et qui approche du but un peu plus que les précédens.

Ce cabestan est composé d'un cylindre principal semblable à celui des cabestans ordinaires, et ensuite d'un cylindre subsidiaire qui est placé en avant du premier, c'est-à-dire, du côté où est le fardeau que l'on tire. Ce second cylindre est de même diamètre que le premier, et en est séparé par des galets, dont l'axe, ainsi que celui du cylindre subsidiaire, est maintenu dans une coulisse pratiquée dans le bâti du cabestan. La corde embrasse les deux cylindres, qui, par-là, se trouvent menés l'un par l'autre, au moyen de la pression que produit la corde. La gorge de chaque cylindre est terminée par deux bourlets, l'un inférieur, et l'autre supérieur; l'inférieur est destiné à arrêter la corde lorsqu'on vire, et le supérieur à l'arrêter lorsqu'on dévire. La distance entre ces bourlets

ou la longueur de la gorge est plus petite dans le cylindre subsidiaire que dans le cylindre principal, d'une quantité égale à deux fois le diamètre de la corde; et par conséquent le bourlet inférieur du cylindre principal se trouve plus bas, et le bourlet supérieur plus haut que ceux de l'autre cylindre, chacun d'une quantité égale au diamètre de la corde. C'est précisément cette construction qui fait que le cabestan peut virer sans *choquer*. Car la corde venant de la masse qu'il s'agit de mouvoir, se roule d'abord sur la demi-circonférence du cylindre principal, en s'appuyant sur le bourlet inférieur de sa gorge, va, de là, avec un petit degré d'obliquité, se placer sur le bourlet inférieur du cylindre subsidiaire. Tournant ensuite sur la demi-circonférence de ce cylindre, elle revient horizontalement sur le cylindre principal, d'où elle passe une seconde fois obliquement sur l'autre cylindre; et ainsi de suite jusqu'à ce qu'elle ait fait autant de tours qu'il est nécessaire, pour que la résistance de la masse à mouvoir ne puisse pas faire glisser la corde sur les cylindres. Faisant ensuite agir le cabestan, on voit que la corde trouve toujours naturellement sa place sur la gorge inférieure du cylindre principal; et qu'ensuite suivant la route que nous venons d'indiquer, tous les tours de la corde occupent toujours sensiblement les mêmes places sur les gorges des cylindres. On n'a donc point besoin de les déplacer pendant toute la durée de l'action du cabestan. Si l'on vient ensuite à dévirer, c'est contre les bourlets supérieurs que s'arrête la corde. L'on n'a besoin, pour cela, d'aucune manœuvre particulière : il suffit de faire tourner le cabestan en sens contraire de celui où il se mouvoit d'abord.

L'idée du cylindre subsidiaire n'est pas due à *Cardinet*; on la trouve dans deux des pièces qui ont partagé le prix de l'Académie des Sciences en 1742. L'une est de *Jean Bernoulli* le fils, et l'autre est de *Ludot*, avocat en parlement. Ce dernier a même employé une pièce analogue aux galets de *Cardinet*. Mais le cabastan de *Cardinet* est d'une construction beaucoup plus simple, et par-là préférable aux autres.

Du Cric.

536. Le cric est encore une machine, moyennant laquelle on peut, avec une petite force, vaincre une grande résistance. Le cric simple est composé d'une barre de fer A B (*fig.* 96) garnie de dents à l'une de ses faces, et mobile dans une châsse C E. Les dents de la barre A B engrènent avec celles d'un pignon D D, qu'on fait tourner sur son axe, au moyen de la manivelle M N. Les dents du pignon soulèvent la barre, et font par conséquent monter le poids placé sur sa tête A.

537. En considérant l'effort que chaque dent du pignon fait en D pour soulever la barre, comme un poids à élever, il est clair (512) que la *puissance*, appliquée à la manivelle, *est à ce poids comme le rayon du pignon est au bras* N M *de la manivelle*. D'où l'on voit qu'en faisant le rayon du pignon très-petit, par rapport à celui de la manivelle, on peut, avec une force médiocre, élever un poids très-considérable.

538. Quelquefois, pour soulever un plus grand poids avec la même force appliquée à la manivelle, on ajoute au cric une vis sans fin (559) qu'on fait

tourner avec la manivelle fixée à son axe, et dont les filets engrènent avec les dents du pignon. Supposons que, dans le cric simple, le pignon ait 8 dents, à chaque tour de manivelle la barre sera élevée de 8 dents. Mais si l'on ajoute une vis sans fin qui ait deux filets, il faudra, pour faire faire une révolution au pignon, et pour élever la barre de 8 dents, faire faire quatre tours à la manivelle. Par-là on rendra donc quadruple le chemin parcouru par la puissance; et par conséquent on quadruplera sa force. Mais on voit que, pour le même degré d'élévation de la résistance, il faudra, dans le second cas, quatre fois autant de temps que dans le premier. Cette vis sans fin produit un autre avantage, qui est de pouvoir arrêter où l'on veut, sans craindre que le poids redescende.

Du Plan incliné.

539. Le plan incliné, l'une des six machines réputées simples, est celui qui fait un angle avec un plan horizontal. Cet angle peut être infiniment petit, et alors le plan se confond avec la ligne horizontale; ou bien cet angle peut être droit, et alors le plan devient vertical. Entre ces deux extrêmes sont comprises toutes les autres espèces d'inclinaisons.

540. Nous avons prouvé ci-dessus (234) que la durée de la chûte d'un corps par un plan incliné, est à la durée de la chûte de ce même corps par la verticale de ce plan, comme la longueur du plan est à sa hauteur. Donc un corps placé sur un plan incliné, est en partie soutenu par ce plan : donc une puissance qui agit par le moyen d'un plan incliné, peut soutenir ou même vaincre une résistance plus grande

qu'elle. Et cette puissance n'agit jamais avec tant d'avantage que lorsque sa direction est parallèle au plan.

541. Soit A C (*fig.* 97) un plan incliné : pour soutenir le corps D sur ce plan, et l'empêcher de tomber, il n'est pas nécessaire que les poids *d*, *d*, qui le retiennent par le moyen des cordes D *e* *d*, soient, pris ensemble, égaux au poids du corps D, si ces poids *d*, *d*, tirent dans la direction D *e* parallèle au plan incliné. Mais si ces poids tiroient dans les directions D F ou D E, ils perdroient de leur avantage : on en verra la raison ci-après.

542. Il est évident que le plan incliné porte une partie du poids D, puisque des poids moindres que le sien l'empêchent de tomber. En effet, le corps *k* (*fig.* 98) tend à tomber par la direction verticale *k h* (202); il en est empêché par le plan incliné *a c* qu'il est contraint de suivre. Son point d'appui est en *d* : on peut donc regarder le rayon *d k* comme un levier, à l'extrémité *k* duquel agissent deux puissances ; l'une, le poids du corps *k*, dans la direction *k h*, oblique au rayon *d k*; et l'autre, *k p*, perpendiculaire à ce rayon. La longueur du bras de levier de cette dernière puissance est donc le rayon entier *d k*; et la longueur du bras de levier par lequel agit le poids du corps *k*, se réduit à *d e*, sinus de l'angle que fait la direction *k h* avec le rayon *k d* (483).

543. Mais, comme les puissances doivent être en raison inverse des longueurs des bras de levier (481), la puissance *k p* doit être au poids du corps *k*, comme *d e* est à *d k*. Mais *d e* est à *d k*, comme *a b*, hauteur du plan, est à *a c*, sa longueur. Car le triangle *d e k*

est semblable au triangle *a b c*, comme cela est aisé à voir : il y a donc le même rapport entre *de*, et *dk*, et *ek*, qu'entre *a b*, hauteur du plan incliné, et *ac*, sa longueur, et *bc*, sa base : *de* représente donc *a b*, la hauteur du plan, et *dk* représente *a c*, sa longueur. D'où il suit que, *dans le cas où la direction de la puissance est parallèle à la longueur du plan incliné, la puissance doit être au poids, comme la hauteur du plan est à sa longueur.*

544. Mais si la direction de la puissance est oblique à la longueur du plan, elle sera dans un autre rapport. Par exemple, *si cette direction est* k m, *parallèle à la base du plan, la puissance doit être alors au poids, comme la hauteur du plan est à sa base ;* comme *de* est à *ek*, ou à *do*, parallèle et égale à *ek*, laquelle ligne *do* est le sinus de l'angle que fait la direction *km* de la puissance avec le rayon *dk*. Pour tous les autres degrés d'obliquité, ce sera toujours le sinus de l'angle que fera la direction de la puissance avec le rayon *dk*, qui déterminera le rapport.

545. Enfin, pour déterminer ce rapport d'une manière plus générale, on peut dire que, dans tous les cas, *le poids et la puissance doivent être entr'eux, comme les sinus des angles que font avec le rayon* d k, *la direction de la puissance et la ligne verticale* (483), laquelle ligne est la direction du poids.

546. Puisque le plan incliné porte une partie du poids (542), ce n'est pas la pesanteur absolue de ce poids que doit soutenir la puissance, mais seulement sa pesanteur respective, c'est-à-dire, la portion de son poids qui n'est pas soutenue par le plan incliné. *Voyez* ci-dessus (256 *et suiv.*) quel rapport il y a

entre cette pesanteur respective et l'inclinaison du plan.

Du Coin.

547. Le coin, l'une des six machines réputées simples, est un prisme triangulaire D A C (*fig.* 99), ou, ce qui est la même chose, un corps composé de de trois plans D C *c d*, D *d a* A, C *c a* A, qui terminent deux triangles D A C, *d a c*. Les deux plans D *d a* A, et C *c a* A, qui sont les plus longs, et que l'on nomme ses *côtés*, forment un angle à la ligne A *a*, qu'on appelle la *pointe* ou le *tranchant du coin* : et le plan D C *c d*, qui est le plus petit des trois, et qui détermine l'écartement des deux autres vers le haut, s'appelle la *base* ou la *tête du coin*. La ligne B A est ce qu'on appelle la *hauteur* ou l'*axe du coin*.

548. L'action du coin peut se rapporter à celle du plan incliné (559). En effet, il est évident que le plan A C *c a* est incliné au plan A D *d a*.

549. On se sert de coin pour fendre, soulever ou comprimer des corps; et pour le faire agir, on emploie communément le choc d'un corps dur, et quelquefois la pression d'un poids. La résistance, qu'on veut vaincre par le moyen du coin, vient souvent de la ténacité des parties; adhérence difficile à estimer. La percussion qui fait agir le coin, est encore une force difficile à comparer à celle d'une pression; c'est pourquoi l'application de la théorie du coin à la pratique n'est pas susceptible d'une grande précision. Pour approcher davantage de cette précision, supposons des puissances dont on connoisse la force absolue, comme des poids; et voyons quels sont les rapports que prennent entr'elles la puissance et la résistance, par l'interposition du coin.

550. Supposons donc les deux rouleaux m, n, (*fig.* 100) attachés l'un m à la corde $m\,l\,e$, et l'autre n à la corde $n\,i\,d$, portant chacune un poids de 10 kiliogrammmes p et r, et passant par-dessus les poulies f et h : supposons aussi que la base $a\,b$ du coin soit égale à la moitié de sa hauteur $c\,h$. Il faudra une pression de 5 kiliogrammes pour tenir ce coin en équilibre avec la somme des deux poids, qui est égale à 20 kiliogrammes, et un peu plus de 5 kiliogrammes pour faire enfoncer le coin de toute sa hauteur $c\,h$, abstraction faite des frottemens. Il est évident, par la construction, que, pendant que le coin s'enfoncera de toute sa hauteur $c\,h$, les deux poids p et r monteront chacun d'une quantité égale à la moitié de $i\,l$, laquelle est égale à $a\,b$, base du coin. Et comme il faut, pour qu'il y ait équilibre, que la puissance soit à la résistance en raison inverse des vîtesses (481), ou des espaces parcourus dans le même temps, il est clair que, *dans le cas d'équilibre, la puissance doit être à la résistance comme la moitié de la base du coin est à sa hauteur.* Donc, plus le coin est aigu, plus son action devient puissante, et plus la même force produit d'effet par son moyen.

551. Si le coin tend à écarter les parties d'un corps dur, et qui ont beaucoup d'adhérence entr'elles, comme cela arrive le plus souvent, son avantage va toujours en augmentant à mesure qu'il s'enfonce entre ces parties. Car supposons qu'on ait fortement attaché ensemble deux tringles de bois $s\,q$ et $t\,r$ (*fig.* 101) par de forts liens p, u, x, etc. tous égaux en force, et qui représentent l'adhérence des parties d'une bûche, par exemple; le coin étant placé entre les deux tringles, agit en quelque façon par les bras $s\,p$, $t\,p$, de

deux leviers angulaires spq, tpr, tandis que les deux autres bras, pq, pr, retenus par les liens, s'appuient mutuellement l'un contre l'autre. Si la force du coin excède un peu celle du premier lien p, ce lien sera rompu. Le second lien u, quoiqu'aussi fort que le premier, sera rompu plus aisément par l'action du même coin, parce qu'alors les bras des leviers par lesquels il agit, sont allongés de la quantité pu; et ainsi des autres. C'est sans doute pour cela que les bois durs et secs, les pierres, le verre, et en général toutes les matières dont les parties sont fort roides, se cassent par éclats, et se fendent fort aisément dès qu'on a commencé à les entamer.

552. On a rapporté au coin tous les instrumens à tranchans et à pointes, comme couteaux, haches, épées, poinçons, etc. En effet, tous ces instrumens ont au moins deux plans inclinés l'un à l'autre, quelquefois quatre ou même plus, qui forment entr'eux un angle plus ou moins aigu. Ainsi les clous, les aiguilles, les épingles, etc. font l'office de coin, et doivent être considérés comme tels.

De la vis.

553. La vis, l'une des six machines réputées simples, est un cône fort alongé ou un cylindre AB (*fig.* 102), sur la circonférence duquel on a creusé une gorge en spirale CFG. On peut représenter sa génération par le mouvement uniforme d'une ligne droite FG (*fig.* 103), qui trace la surface d'un cylindre KH, dans le même temps qu'un point F descend avec une vîtesse uniforme de F en I et de I en G. Il est clair qu'à la fin de trois révolutions et un quart, ce point auroit parcouru la ligne spirale FLMHKNOP.

La cloison C F (*fig.* 102) qui demeure entre les tours de la gorge de la vis, s'appelle le *filet de la vis*; et la distance C G qu'il y a d'un filet à l'autre, s'appelle le *pas de la vis.*

554. On pratique de même le filet et la gorge dans une cavité cylindrique, pratiquée dans un morceau de métal ou de bois C D (*fig.* 104), pour en faire une vis intérieure, qui prend ordinairement le nom d'*écrou.* On l'appelle aussi quelquefois *vis femelle*, tandis qu'on nomme la vis A B *vis mâle.*

555. Il est aisé de voir que le filet d'une vis est un plan incliné à la base du cylindre A B (*fig.* 102); et que ce plan y est d'autant plus incliné, que les pas C G sont moins grands. La hauteur de ce plan est le pas de la vis, ou, ce qui est la même chose, la distance d'un filet à l'autre: sa base est la circonférence de la vis: et sa longueur est donnée par cette circonférence et la hauteur du pas; car si l'on développe un de ces filets *a b*, il formera, avec son pas *b c*, et sa base ou la circonférence *a c* de la vis, un triangle *a b c*, rectangle en *c*, dont il est aisé de connoître le côté *a b*, puisqu'on connoît les deux autres, ainsi que l'angle en *c*. Lors donc qu'une vis tourne dans son écrou, ce sont deux plans inclinés, dont l'un glisse sur l'autre.

556. Selon la matière dont on fait les vis, ou celle dans laquelle elles doivent entrer, et suivant les efforts qu'elles ont à soutenir, on donne différentes formes à leurs filets. Aux vis de bois, on fait des filets C, G, F, angulaires, pour leur conserver de la force; car, par cette figure, ils ont une base plus large sur le cylindre qui les porte. On donne aussi la

même forme aux filets des vis en bois, c'est-à-dire, de ces petites vis de fer, qui sont des cônes fort alongés, qui finissent presque en pointe, et qui doivent creuser elles-mêmes leur écrou dans le bois. On doit les considérer, de même que les mêches des vrilles et des tarrières, comme des coins tournans, dont l'angle ouvre le bois d'autant plus aisément, qu'il est plus aigu. Mais aux grosses vis de métal (*fig.* 105), qui servent aux presses et aux étaux, on fait des filets quarrés *f*, *f*, afin qu'elles éprouvent plus de frottemens par l'augmentation de la surface de chaque filet; car c'est souvent des frottemens que vient le principal effet des vis : ils empêchent les mâchoires d'un étau de s'écarter, quoiqu'elles y tendent par la réaction de la pièce qu'elles serrent entr'elles.

557. On se sert principalement des vis pour serrer fortement des corps les uns contre les autres, et quelquefois aussi pour élever des poids ou des fardeaux, ou pour faire avancer ou reculer certaines pièces d'une quantité déterminée. Pour cela on fait usage de la vis et de l'écrou, dont l'un ou l'autre sert de point d'appui. Quelquefois la vis est mobile et l'écrou est fixe; d'autres fois c'est la vis qui est fixe, tandis que l'écrou est mobile; mais, dans l'un et l'autre cas, l'effet de la vis est le même.

558. Quand on veut faire usage de cette machine, on attache donc ou l'on applique l'une des deux pièces (la vis ou l'ecrou) à la résistance à vaincre, et l'autre lui sert comme de point d'appui. Alors, en tournant, on fait mouvoir l'écrou sur la vis, ou la vis dans l'écrou, selon sa longueur; et ce qui résiste à ce mouvement avance ou recule d'autant. Aux étaux des serruriers, par exemple, une des deux mâchoires

choires est poussée, par l'action d'une vis, contre l'autre, à laquelle est fixé un écrou. Il faut, comme l'on voit, que la puissance fasse un tour entier, pour faire avancer la résistance d'un pas de vis, c'est-à-dire, d'une quantité égale à la distance d'un filet à l'autre. Si la puissance est appliquée immédiatement à la vis, l'espace qu'elle parcourt, ou son degré de vîtesse est *a c* (*fig.* 102), qui est la mesure de la circonférence de la vis (555); et le degré de vîtesse de la résistance est *c b*, mesure du pas de la vis. Mais, comme on fait ordinairement tourner les vis, et surtout celles qui sont grosses, avec des leviers ou quelque chose d'équivalent, la force motrice fait beaucoup plus de chemin que si elle étoit immédiatement appliquée à la vis : ce n'est plus *a c* qui exprime sa vîtesse, c'est la circonférence du cercle, dont le levier D E est le rayon. Et, comme, pour qu'il y ait équilibre, il faut que les puissances soient entr'elles en raison inverse de leurs vîtesses, on peut établir, en général, que dans l'usage des vis, si l'on fait abstraction des frottemens, *la puissance est à la résistance, en cas d'équilibre, comme la hauteur du pas est à la circonférence que décrit la puissance.* D'où il suit que la même résistance sera vaincue par une puissance d'autant plus petite, que le pas de la vis sera lui-même plus petit, ou que cette puissance agira par un levier plus long. Mais, dans ce dernier cas, elle fera plus de chemin : elle perdra donc en temps ce qu'elle gagnera en force, comme cela ne manque jamais d'arriver.

De la Vis sans fin.

559. La vis sans fin diffère beaucoup des vis dont vous venons de parler (553 *et suivans*). Ces dernières se meuvent dans un écrou, et cessent de tourner quand elles ont avancé de toute leur longueur. Au lieu que la vis sans fin est un cylindre qui tourne toujours du même sens, ses deux extrémités A et B (*fig.* 106) étant portées sur des pivots solides; de sorte que son action est continue : c'est ce qui lui a fait donner son nom. Les filets *z*, *h*, de cette vis, qui sont le plus souvent quarrés, engrènent avec les dents d'une roue verticale C *h*, qui porte, sur son axe, un rouleau T, avec une corde à laquelle on attache le fardeau P qu'on veut élever. Une très-petite force, appliquée à la manivelle M E, peut enlever un fardeau P très-considérable; mais il faut beaucoup de temps, comme on va le voir.

560. Cherchons donc le rapport du poids P à la puissance Q. Il est évident que le poids P est contrebalancé immédiatement par la résistance que le filet *h* de la vis oppose à la dent de la roue, suivant la direction *h g*, perpendiculaire au rayon C *h*. Ce filet *h* agit donc par le rayon C *h* de la roue, tandis que le poids P agit par le rayon C *d* du rouleau. Ainsi, pour avoir équilibre, il faut que la force en *h* soit au poids P, comme C *d*, rayon du rouleau, est à C *h*, rayon de la roue (478 *et suiv.*)

561. Mais de même que le filet de la vis pousse la dent de la roue suivant la direction *h g*, de même aussi ce filet est repoussé à son tour suivant la direction contraire *h i*, et avec la même force, par la réaction de la dent de la roue, que le poids P tend à faire

tourner dans ce sens-là. Si cette dernière force l'emportoit, elle feroit faire un tour au rayon M E de la manivelle, pendant que la roue reculeroit d'une dent. Il faut donc, pour avoir équilibre, que la puissance Q soit à la réaction de la dent de la roue, comme le pas *z h* de la vis est à la circonférence que décrit le rayon M E, par lequel agit la puissance Q.

562. On peut donc exprimer ainsi le rapport que le poids P doit avoir en cas d'équilibre, aveo la puissance Q. *Le poids est à la puissance, comme le rayon de la roue, multiplié par la circonférence que décrit le rayon de la manivelle, est au produit du rayon du rouleau multiplié par la hauteur du pas de la vis.*

563. On pourroit encore exprimer autrement ce rapport. Nous venons de dire (561) que la puissance Q fait faire un tour à la manivelle M E, pour faire avancer une dent de la roue. Pour faire faire un tour entier à cette roue, et par conséquent pour élever le poids P d'une quantité égale à la circonférence du rouleau, il faudroit donc faire faire à la manivelle autant de tours que la roue a de dents. Et comme les puissances doivent être en raison réciproques des vîtesses ou des espaces parcourus, on peut dire : *Le poids est à la puissance, comme la somme des circonférences décrites par l'extrémité du rayon de la manivelle, est à la circonférence du rouleau.*

564. Il suit de là que le mouvement de la roue étant excessivement lent, en comparaison de celui de la manivelle, il n'est besoin que d'une très-petite

puissance pour soulever un poids considérable, par le moyen de la vis sans fin. Par exemple, supposons, comme dans la *fig.* 106, une roue C *h* qui ait 19 dents, et une vis qui n'ait qu'un filet, et qui, à chaque tour, ne fasse passer qu'une dent de la roue; que la circonférence du rouleau T soit de trois décimètres; et que celle que décrit le rayon E M de la manivelle soit de 15 décimètres. Quand la roue C *h* aura fait un tour entier, le poids P sera monté de 3 décimètres; et l'espace parcouru par la puissance Q, sera de 19 fois 15 décimètress, ou de 285 décimètres, ou de $28\frac{1}{2}$ mètres. La vîtesse de la puissance Q sera donc à la vîtesse du poids P, comme 95 est à 1. Par conséquent cette puissance, avec un effort d'un kiliogramme, en soutiendroit 95; et si son effort égaloit 30 kiliogrammes, elle en soutiendroit 2850.

565. Si la roue C *h* avoit une fois plus de dents qu'elle n'en a, ou que le rayon E M de la manivelle fût une fois plus long, la même puissance Q produiroit un effet double; c'est-à-dire, qu'elle soutiendroit 5700 kiliogrammes.

566. Mais si, sans changer le nombre des dents de la roue C *h*, ou la longueur du rayon E M de la manivelle, on plaçoit sur l'axe de la roue, au lieu du rouleau T, une autre vis sans fin, dont le filet engrenât avec les dents d'une seconde roue de même nombre que la première, et garnie du rouleau T, qui soutînt le poids P, la même puissance Q seroit capable de soutenir un poids 19 fois aussi grand; c'est-à-dire, que cette puissance, ne valant intrinsèquement que 30 kiliogrammes, en pourroit soutenir 54150.

De la Vis d'Archimède.

567. Cette machine, inventée par *Archimède*, est très-propre à l'élévation des eaux. C'est un cylindre C D (*fig.* 107) qui tourne sur deux pivots, et autour duquel on a roulé en spirale un canal creux C *a d e g f i*. On incline ce cylindre à l'horizon sous un angle d'environ 45 degrés, et l'on fait plonger dans l'eau l'orifice C du canal. Ce canal, qui dans la figure est ouvert dans toute sa longueur, doit être fermé de toutes parts, excepté à ses deux extrémites. Si, par le moyen d'une manivelle M, ou autrement, on fait tourner la vis, l'eau glisse dans le canal spiral, se porte de spire en spire, et va se décharger par l'autre extrémité *i* du canal creux.

568. Cette machine est très-simple, et son invention est très-heureuse; l'eau y monte, non pas en descendant, comme quelques-uns l'ont dit, mais par la même force qui tend à la faire descendre, en un mot, par sa pesanteur. En effet, la particule d'eau qui est dans la partie inférieure de la vis en *d*, par exemple, ne peut pas demeurer au point *d*, lorsqu'en tournant la vis, ce point *d* passe en *a*, lieu plus élevé que n'étoit le point *d* avant qu'on tournât la vis; parce que la pesanteur de cette particule l'oblige de se porter au point qui a succédé au point *d* à la partie inférieure de la vis, lequel point est plus bas que n'est actuellement le point *a*, mais en même temps plus élevé que n'étoit le premier point *d* avant qu'il passât en *a*; de sorte que cette particule d'eau, tendant toujours à se tenir au lieu le plus bas, se trouve à chaque instant dans des points de plus en plus élevés, et elle y est réellement portée par sa pesanteur. Ce que nous

disons de cette particule d'eau, on peut le dire de toutes les autres. Il faut donc que, pour qu'une substance puisse monter dans la vis d'*Archimède*, elle soit fluide et pesante.

569. Cette vis est fort propre à élever une grande quantité d'eau avec une très-petite force; c'est pourquoi elle peut être très-utile pour vider des lacs et des étangs. Mais elle ne peut pas porter l'eau à une grande hauteur, parce que cette vis étant nécessairement inclinée, ne peut élever l'eau fort haut, sans devenir elle-même fort longue, et par-là très-pesante, et sans courir les risques de se courber et de perdre son équilibre; ce qui exigeroit alors une très-grande force pour la mettre en jeu.

Des résistances qu'éprouvent les Machines lorsqu'elles sont prêtes à se mouvoir.

570. Si les matières dont les machines sont composées étoient parfaitement dures et parfaitement polies, et si les cordes qu'on est souvent obligé d'employer, pour transmettre l'action de la force motrice d'une partie de la machine à l'autre, avoient une parfaite flexibilité, la théorie de l'équilibre que nous venons d'établir, suffiroit pour déterminer, dans chaque cas, la force requise pour contrebalancer une résistance donnée; et cette force une fois trouvée, on seroit assuré qu'en l'augmentant de la plus petite quantité, l'équilibre se romproit, et la résistance seroit vaincue. Mais dans l'état physique et naturel des machines, il s'en faut de beaucoup que les choses ne soient ainsi. Il peut se faire qu'on augmente, même d'une quantité assez grande, cette puissance déterminée par la théorie, sans que pour cela il résulte

aucun mouvement dans la machine. Le frottement des surfaces les unes contre les autres, et la résistance que font les cordes lorsqu'il s'agit de les faire plier autour des poulies ou cylindres qu'elles embrassent, s'opposent au mouvement de la machine. La valeur de ces résistances est très-difficile à estimer : on ne doit donc pas se promettre une théorie rigoureuse sur cette matière, qui est mêlée d'un si grand nombre d'accidens et de difficultés physiques, qu'on ne parviendra peut-être jamais à l'éclaircir complètement.

571. Nous avons déjà parlé assez au long (96 *et suiv.*) de la résistance qui résulte des frottemens : nous croyons devoir y renvoyer le lecteur. Nous allons nous occuper maintenant de la résistance qui vient de la roideur des cordes.

De la roideur des Cordes.

572. Les cordes sont des corps longs et plus ou moins flexibles, composés de plusieurs fils, de matière, soit végétale, soit animale, soit minérale, appliqués les uns contre les autres, et réunis par le tortillement. On fait donc des cordes de matières végétales, telles que le chanvre et l'écorce d'arbre : celles de chanvre sont les plus communes, les plus en usage, et préférables à celles d'écorce d'arbre, car elles ont plus de force. On en fait de matières animales, telles que la soie, les boyaux et les nerfs. On en fait aussi quelquefois de matières minérales, telles que le fil de fer et le fil de laiton.

573. La difficulté que fait éprouver la roideur des cordes, lorsqu'il s'agit de les faire plier sur les poulies ou les cylindres, est très-considérable et très-dif-

ficile à évaluer, comme nous l'avons dit ci-dessus (570). Les principes que nous allons établir ne sont donc pas rigoureusement vrais; mais du moins ils sont assez conformes à ce que l'expérience nous a appris là-dessus. C'est *Amontons* qui a le premier traité méthodiquement cette matière. (Voyez les *Mémoires de l'Académie des Sciences*, année 1699, page. 217.) Il rapporte les expériences qu'il a faites pour s'assurer des proportions dans lesquelles ces résistances augmentent. De ces expériences il suit que la roideur des cordes dépend principalement de trois choses; 1°. de la force qui tient les cordes tendues; 2°. de la grosseur des cordes; 3°. de la quantité dont on les fait plier, ou, ce qui est la même chose, du diamètre des poulies ou cylindres sur lesquels on les fait plier.

574. Supposons deux cordes AC, BD, (*fig.* 108) attachées chacune à un point fixe A et B; qu'on leur fasse faire à chacune un tour sur le cylindre E E. Si elles n'avoient point de roideur, et qu'elles fussent parfaitement flexibles, le poids seul du cylindre suffiroit pour le faire tomber: au lieu de cela, il faut, pour qu'il descende, y ajouter un poids d'autant plus considérable, que les cordes sont tendues par une plus grande force. Pour s'en assurer, que l'on attache au cylindre E E un bassin de balance G, avec un cordon roulé dans le sens contraire à celui dans lequel sont roulées les cordes A C, B D, et que l'on tende ces cordes avec des poids placés sur le plateau C D. On verra, 1°. que pour faire descendre le cylindre, et par conséquent pour vaincre la roideur des cordes, il faudra ajouter dans le bassin G, un poids d'autant plus considérable, que le poids placé sur le plateau

CD, et qui tend les cordes, sera plus grand. Si le poids qui tend les cordes est, 1°. de 100 kiliogrammes; 2°. de 200 kiliogrammes, il faudra, dans le bassin G, dans le second cas, un poids double de celui qu'il aura fallu dans le premier. D'où il suit que la *résistance de la roideur des cordes, qui résulte des forces qui tendent ces cordes, croît en raison directe de ces forces.*

575. On verra, 2°. qu'avec le même cylindre et le même degré de tension des cordes, il faudra ajouter, dans le bassin G un poids d'autant plus considérable, que le diamètre des cordes sera plus grand. Si ce diamètre est, 1°. de 27 millimètres (12 lignes), 2°. de 54 millimètres (24 lignes); il faudra, dans le bassin G, dans le second cas, un poids double de celui qu'il aura fallu dans le premier. D'où il suit que *la résistance de la roideur des cordes, qui résulte de leur grosseur, croît seulement comme le diamètre des cordes, et non pas comme leur solidité.*

576. On verra, 3°. qu'en éprouvant toujours les mêmes cordes, tendues par les mêmes forces, et conservant toujours le même diamètre au cylindre sur lequel s'enveloppe le cordon qui porte le bassin G, il faudra ajouter, dans ce bassin, un poids d'autant plus considérable, que le diamètre du cylindre sur lequel s'enveloppent les cordes, sera plus petit; mais non pas toujours suivant la proportion de la diminution de ce diamètre. Car la *résistance de la roideur des cordes* (qui augmente certainement à mesure que les cylindres deviennent plus petits) *n'augmente pourtant pas toujours autant que décroissent les diamètres des cylindres sur lesquels elles s'enveloppent.*

577. Pour rendre raison de ces faits, supposons la corde *ihfe*L (*fig.* 109), attachée au point fixe *i*, et roulée sur le cylindre *e*. On peut considérer le diamètre *fe* du cylindre et le diamètre *eh* de la corde, comme formant ensemble un levier à bras inégaux, dont le point d'appui est en *e*, point où la corde touche le cylindre. Le poids du bassin G agit donc par le bras de levier *fe*, tandis que le poids attaché à l'extrémité L de la corde et qui la tend, agit par le bras de levier *eh*, ou par le diamètre de la corde. Il est aisé de voir maintenant qu'un poids double, agissant par ce bras de levier, doit y produire un effet double. C'est de là que résulte le premier principe (574).

578. En supposant toujours la même figure, on voit pourquoi, à mesure que *eh*, ou, ce qui est la même chose, le diamètre de la corde augmente, la force du poids L augmente en même proportion : car ce poids agit alors par un bras de levier plus long; ce qui lui donne plus de force pour augmenter la roideur de la corde. C'est de là que résulte le second principe (575). On voit que ce n'est que le diamètre de la corde, et non pas sa solidité, qui influe sur cet effet; cela vient de ce que cette résistance, causée par le diamètre de la corde, ne provient que de ce que ce diamètre éloigne ou approche l'action du poids L du point d'appui *e*, et non pas de ce que la corde contient plus ou moins de matière; car, si cela étoit, cette résistance augmenteroit ou diminueroit suivant les quarrés des diamètres des cordes.

579. Pour rendre raison du troisième principe (576), savoir pourquoi la résistance de la roideur des cordes augmente à mesure que les cylindres, sur les

quels elles s'enveloppent, deviennent plus petits; supposons une corde tendue A B C D (*fig.* 110): si l'on veut la faire plier sur le cylindre K, on est obligé de faire écarter ses parties dans la moitié de son épaisseur A B E F, pour lui faire prendre la situation *a g d e h f*, et de resserrer au contraire ses parties dans l'autre moitié de son épaisseur *e h f c i b*: or cet écartement d'une part, et ce resserrement de l'autre, font une résistance réelle à la puissance qui tend à plier la corde; et cette résistance est d'autant plus grande, 1°. que la force qui tend la corde est plus considérable; car alors elle est plus roide; 2°. que la corde est plus grosse, puisqu'il y a plus de parties à écarter d'une part et à resserrer de l'autre; 3°. que le diamètre du cylindre sur lequel on fait plier la corde est plus petit, la corde demeurant la même, puisqu'il faut écarter davantage d'une part, et resserrer de l'autre la même quantité de parties. Il faut donc moins de force pour faire plier la même corde sur le cylindre K que sur le cylindre *k*. Mais l'expérience prouve que cette résistance n'augmente pas toujours autant que les diamètres des cylindres décroissent.

580. De tout ceci, il suit qu'en général la *résistance qui vient de la roideur des cordes, est en raison composée de la raison directe des forces qui tendent les cordes, de la raison directe des diamètres des cordes, et à peu-près de la raison inverse des diamètres des cylindres.*

581. Il suit de là que la résistance qui vient de la roideur des cordes dans une machine, étant estimée en poids, tel que celui qui est nécessaire pour contre-

balancer cette résistanee, devient eomme un nouveau fardeau qu'il faut ajouter à eelui que la maehine doit élever; et eomme cette augmentation de poids augmentera eneore la roideur des eordes, il faudra de nouveau calculer eette augmentation de résistanee, et ajouter le poids néeessaire pour la eontrebalaneer, et ainsi de suite, jusqu'à ce que eette résistanee, provenant de l'augmentation qu'on fait à chaque fois à la puissaaee, soit si petite qu'on ne doive plus y avoir égard. Ainsi on aura plusieurs sommes décroissantes, qu'il faudra ajouter ensemble, et qui peuvent se monter très-haut.

582. Il suit de tout ce que nous venons de dire sur la résistance qui provient de la roideur des cordes, qu'on doit préférer, autant que faire se peut, les grandes poulies aux petites, non-seulement parce qu'ayant moins de tours à faire, leur axe éprouve moins de frottement, mais encore paree que les eordes qui les entourent y souffrent une moindre eourbure (579), et font par eonséquent une moindre résistanee. Cette considération est d'une si grande conséquence dans la pratique, qu'en évaluant la roideur de la corde, selon la règle de *Amontons* (*Mémoires de l'Académie des Sciences*, année 1699, pag. 225), on voit elairement que si l'on vouloit enlever un fardeau de 800 livres (391 kiliogrammes 605 grammes) avec une corde de 20 lignes (45 millimètres) de diamètre, et une poulie qui n'eût que 3 pouees (81 millimètres), il faudroit augmenter la puissance de 212 livres (environ 104 kiliogrammes), seulement pour vaincre la roideur de la eorde, sans compter plus de 224 livres (près de 110 kiliogrammes) pour vaincre le frottement de l'axe de la poulie; au lieu

qu'avec une poulie de 2 pieds (650 millimètres) de diamètre, 22 livres (10 kiliogrammes 769 grammes) suffiroient pour vaincre la roideur de la corde, et 23 livres (11 kiliogrammes 259 grammes) pour vaincre le frottement.

583. Comme les cordes qu'on emploie dans les grandes machines et sur les vaisseaux, sont d'un prix considérable, et qu'elles doivent soutenir de très-grands efforts, on doit chercher à les rendre durables, et à leur donner le plus de force qu'il est possible. Si les fibres qui composent les cordes étoient assez longues par elles-mêmes, on se seroit sans doute contenté de les mettre ensemble, et de les lier en forme de faisceaux sous une enveloppe commune. Cette manière de composer les cordes eût peut-être paru la plus simple et la plus propre à leur conserver la flexibilité qui leur seroit si nécessaire : mais comme ces fibres n'ont qu'une longueur fort limitée, on a trouvé le moyen de les prolonger en les filant, c'est-à-dire, en les tortillant ensemble. Le frottement qui naît de cette sorte d'union, est si considérable, qu'elles se cassent plutôt que de glisser l'une sur l'autre. C'est ainsi que se forment les premiers fils dont l'assemblage fait un cordon; et de plusieurs de ces cordons réunis et tortillés ensemble, on compose les plus grosses cordes. On juge aisément que la quantité de matière contribue beaucoup à la force des cordes : on conçoit bien aussi qu'un plus grand nombre de cordons également gros, doit faire une corde plus difficile à rompre : mais quelle est la manière la plus avantageuse d'unir les fils ou les cordons? Est-il plus avantageux de tordre beaucoup les cordes, ou de les

tordre peu ? Le tortillement augmente-t-il leur force ou le diminue-t-il? *De Réaumur* (*Mémoires de l'Académie des Sciences*, année 1711, page 6) a fait une longue suite d'expériences pour chercher à résoudre cette question. Après avoir éprouvé la force de plusieurs brins de fil, il a fait plusieurs petites cordes, composées de différens nombres de ces brins, tortillés ensemble. Jamais ces cordes n'ont porté la somme des poids que les brins dont elles étoient composées, portoient séparément. D'où l'on a conclu, avec raison, que le tortillement diminue la force des cordes.

584. Il est aisé d'en sentir la raison. En tortillant ensemble plusieurs cordons pour former une corde, les uns sont inévitablement plus fortement tendus que les autres : lorsque la corde est appliquée à quelque effort, cet effort est inégalement partagé entr'eux : celui de tous qui est le plus tiré, casse le premier ; et si tous sont nécessaires pour l'effort à vaincre, la corde devient par-là trop foible. Ce raisonnement est conforme à ce qui arrive journellement : jamais une grosse corde ne casse toute entière d'un seul coup ; on entend casser ses cordons les uns après les autres. En effet, supposons que le cordon A B (*fig.* 111) puisse porter 10 kiliogrammes, et rien au-delà : si, avec deux cordons parfaitement semblables, on forme, en les tortillant, une corde G, elle ne soutiendra pas, sans se casser, les deux poids E, F, de chacun 10 kiliogrammes. La même chose arriveroit, si, au lieu de réunir les deux cordons, on les attachoit séparément à deux points fixes C, D, et qu'on leur suspendît ensuite un poids de 20 kiliogrammes H, mais de façon que l'un C fût attaché vers un des bouts du

poids, et l'autre D vers la moitié ou le tiers de sa longueur. Ce dernier, étant par cette disposition chargé de plus de 10 kiliogrammes, casseroit infailliblement; après quoi l'autre, se trouvant seul chargé des 20 kiliogrammes, se romproit de même. On peut ajouter qu'en tortillant les cordons, pour en former une corde, on les tend nécessairement un peu; et cette tension tient lieu d'une partie de l'effort qu'ils peuvent soutenir. On voit donc bien maintenant pourquoi le tortillement affoiblit les cordes : d'où il suit qu'on les affoiblit d'autant plus qu'on les tord davantage. En effet, je pense qu'on devroit tordre les cordes moins qu'on ne le fait; elles en seroient moins roides, et elles ne se casseroient pas si aisément. Elles acquerroient par-là deux qualités bien précieuses : elles seroient plus durables et plus faciles à faire plier sur les poulies et les cylindres.

585. Comme les cordes, que l'humidité pénètre, se renflent et se raccourcissent nécessairement, peu ou beaucoup, quelles que soient les forces qui s'y opposent, on pourroit les employer utilement pour soulever, d'une petite quantité, un corps très-lourd : sous lequel on voudroit introduire quelque autre corps. Pour cela, il faut attacher ce corps lourd, par le moyen d'une corde assez forte et d'une certaine longueur, à un point bien fixe et capable de résister au poids de ce corps. On tendra la corde le plus qu'on pourra; ensuite on la mouillera. L'humidité, en la pénétrant, la gonflera et la raccourcira au point de soulever le corps, quel que soit son poids.

586. Les particules humides pénètrent les corps

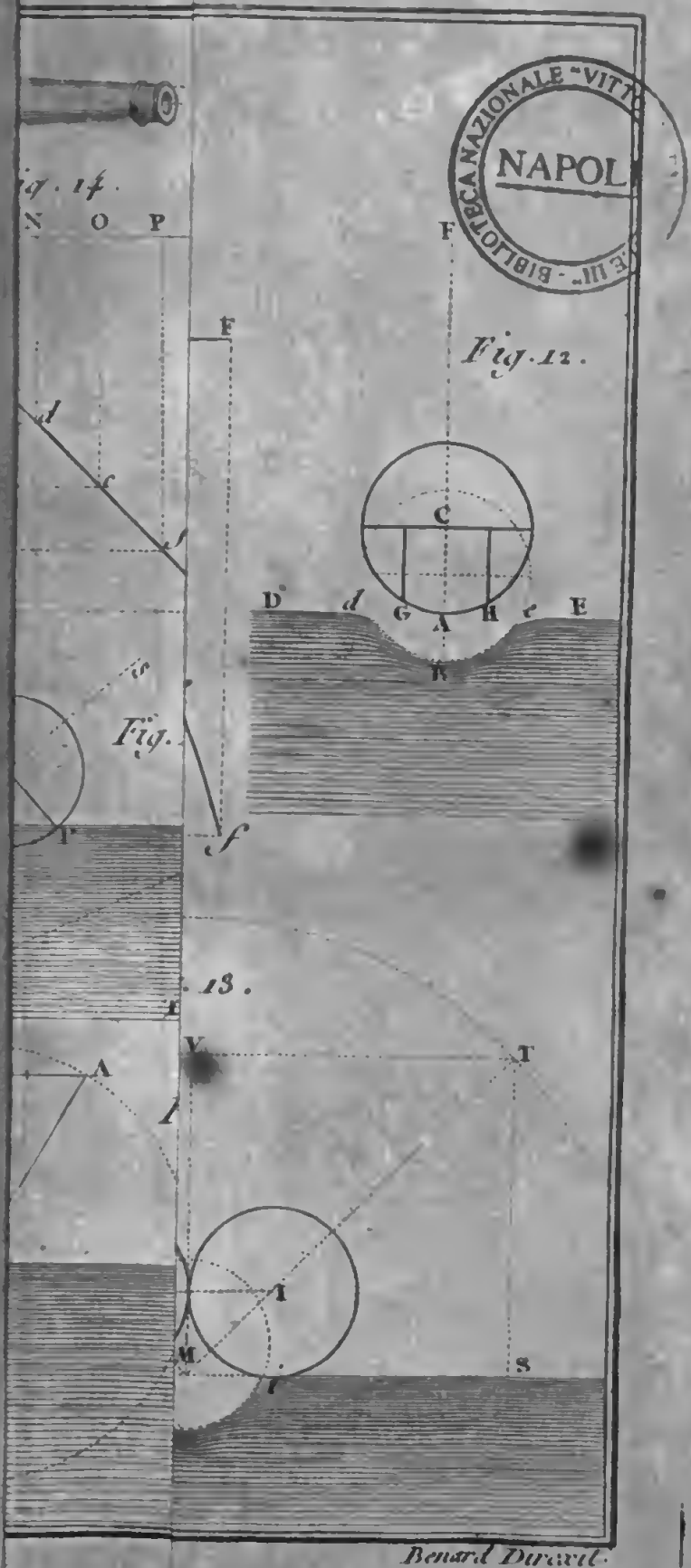
avec une très-grande force, dont on ne connoît pas bien la cause. On conçoit que ces particules, en pénétrant, comme autant de petits coins, entre les fibres de la corde, les écartent et leur font faire ventre; ce qui gonfle et raccourcit nécessairement l'assemblage.

FIN DU TOME PREMIER.

069023

BIBLIOTECA NAZIONALE
NAP

Renard Durand



BIBLIOTECA NAZIONALE "VITT
NAPOL
E III" - BIBLIOTECA

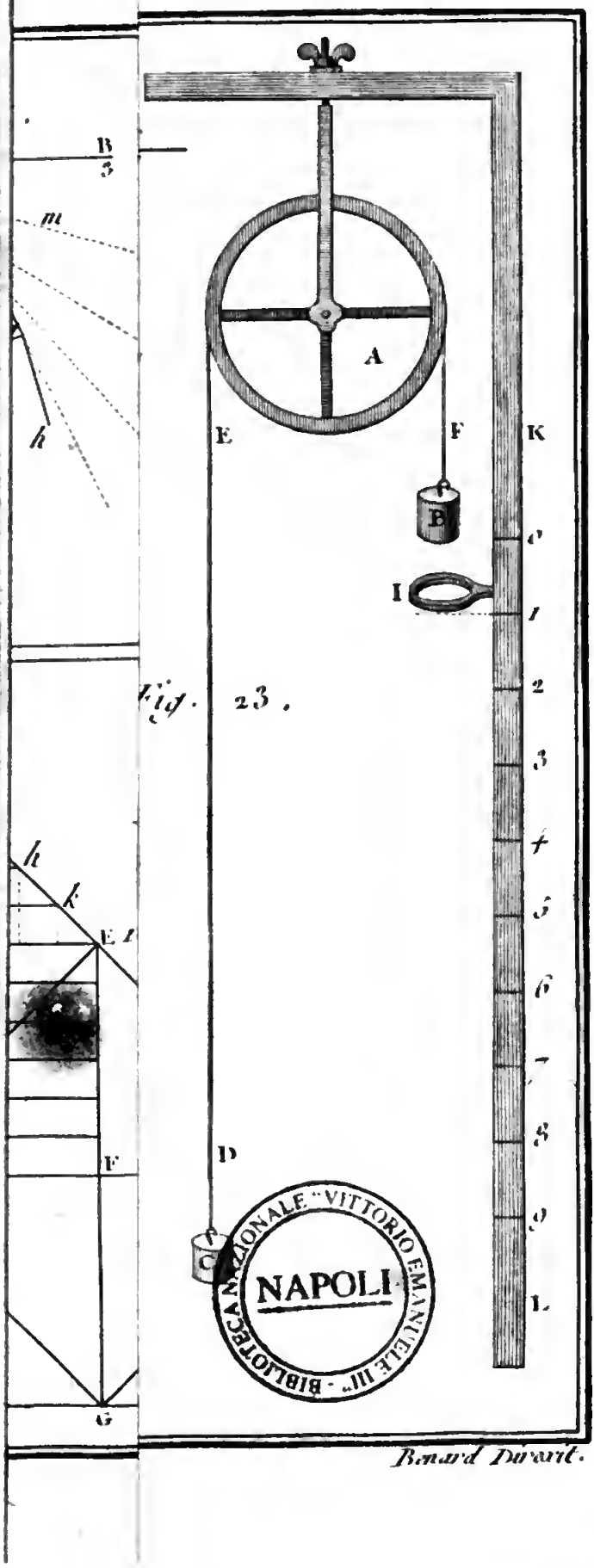


Fig. 23.

BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" - NAPOLI

Benard Durant.

Pl. 4.

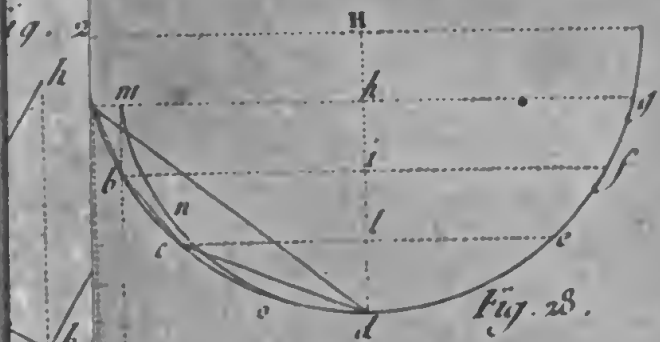


Fig. 28.

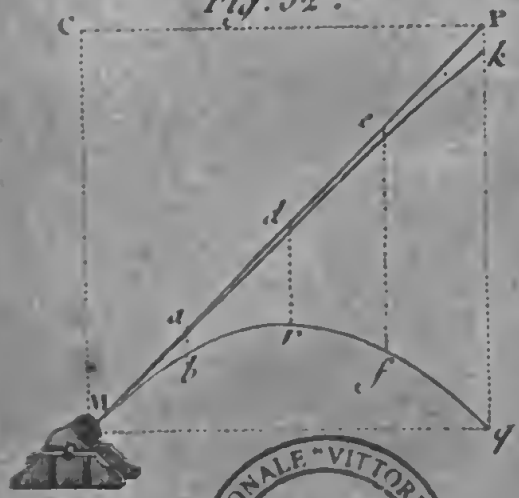


Fig. 32.

BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" · NAPOLI

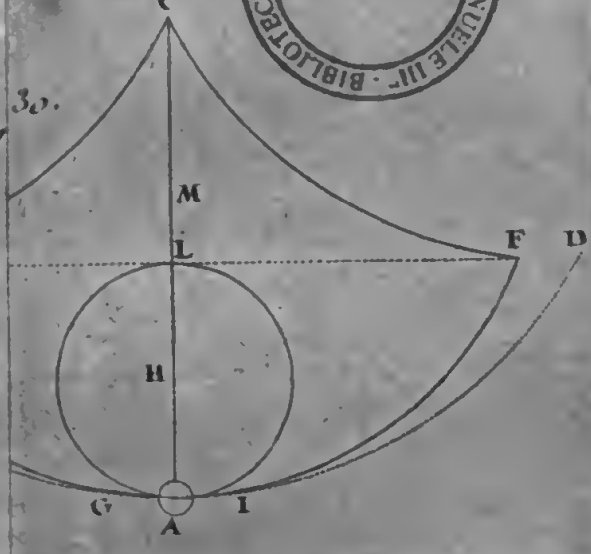
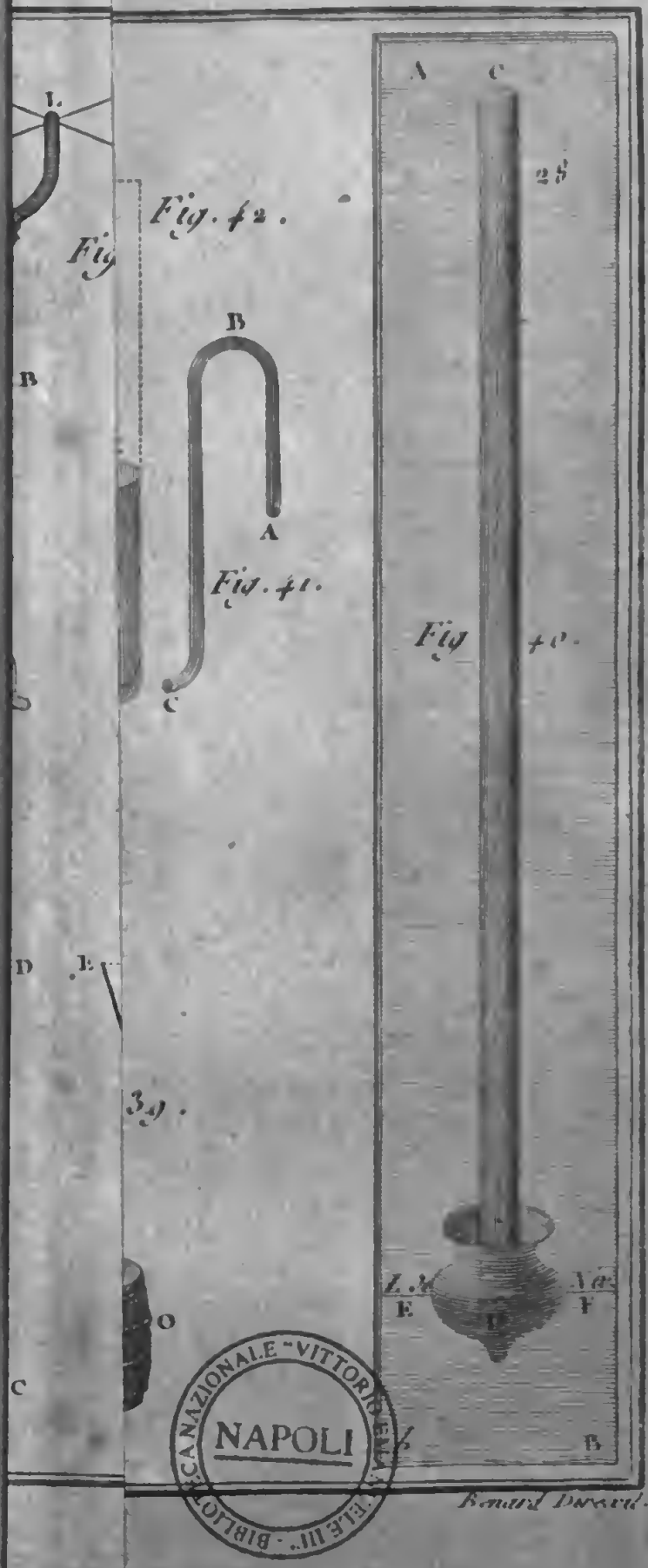


Fig. 30.



BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

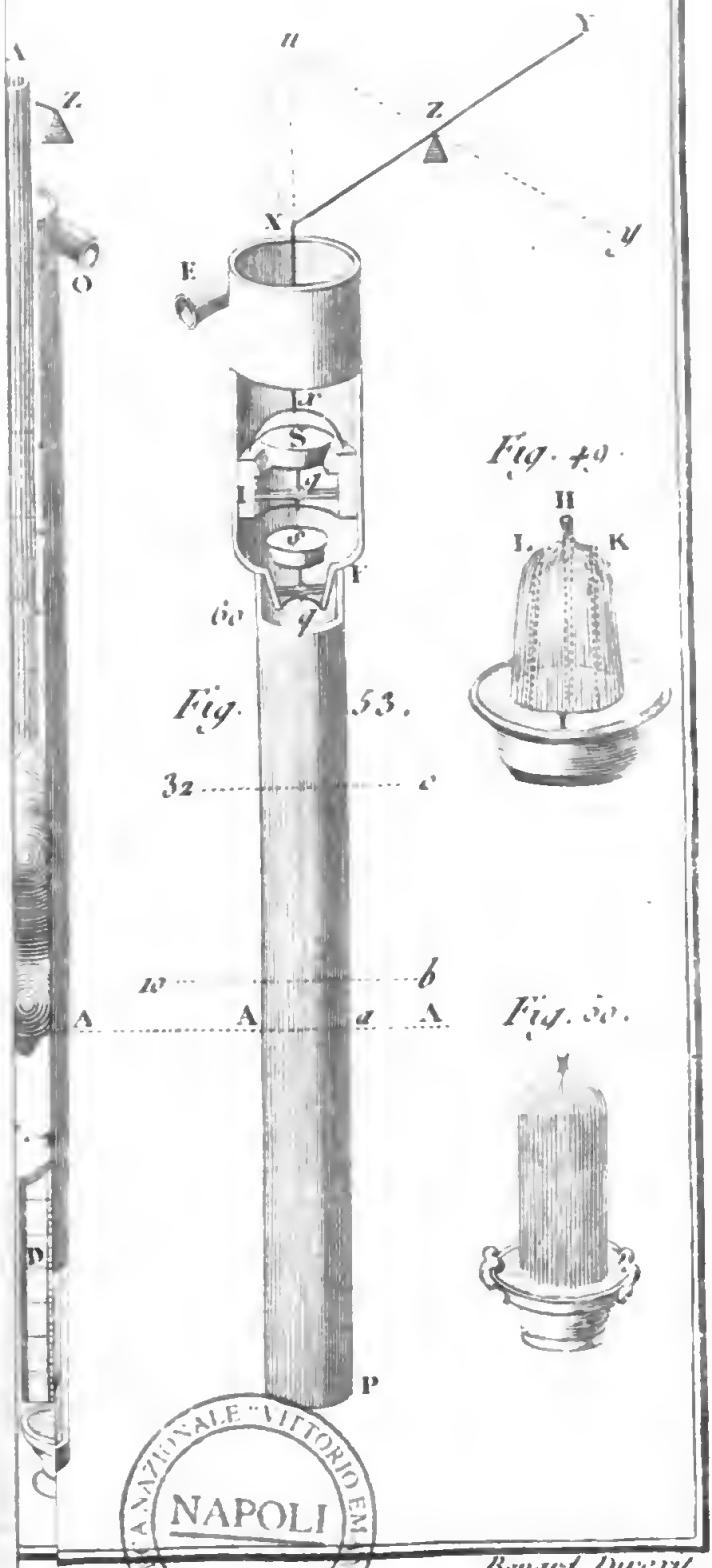


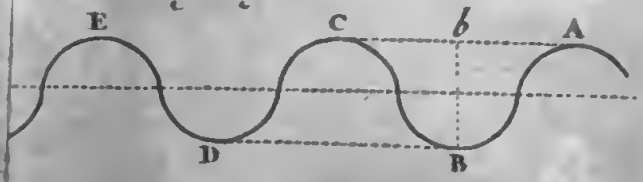
Fig. 49.

Fig. 50.

BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" - NAPOLI

Benard Durand

Fig. 59.



BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

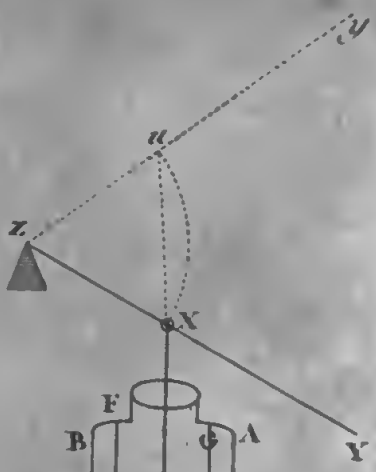


Fig. 56.

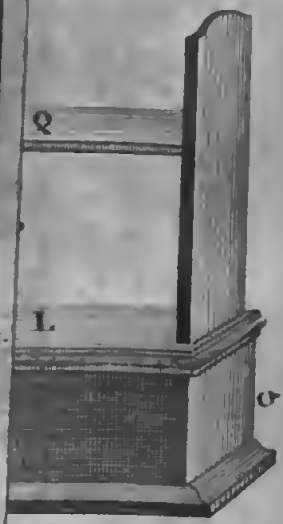
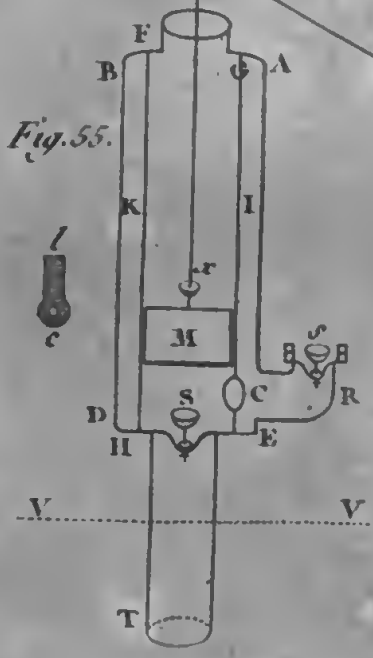


Fig. 55.



Benard Direxit.

Fig. 62

Fig. 63.

Fig. 64.

Fig. 68.

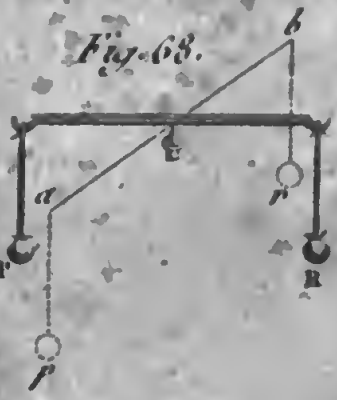


Fig. 71.

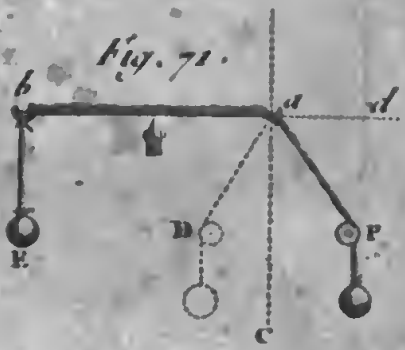
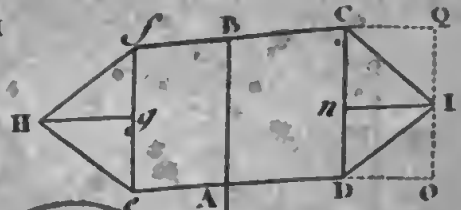


Fig. 73.



TECA NAZIONALE "VITTORIO E
NAPOLI

Bernard Direxit.

Fig. 77.

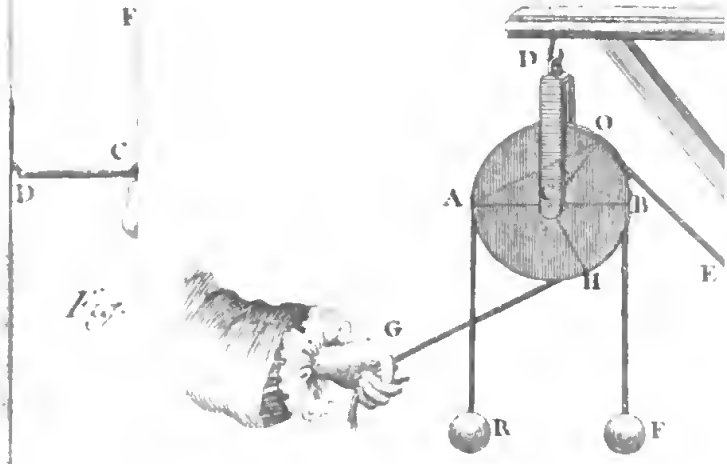


Fig. 76.

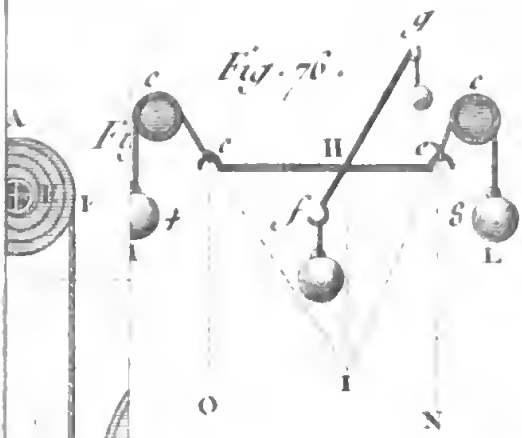
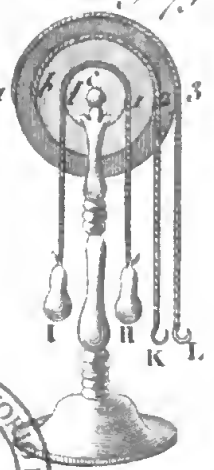


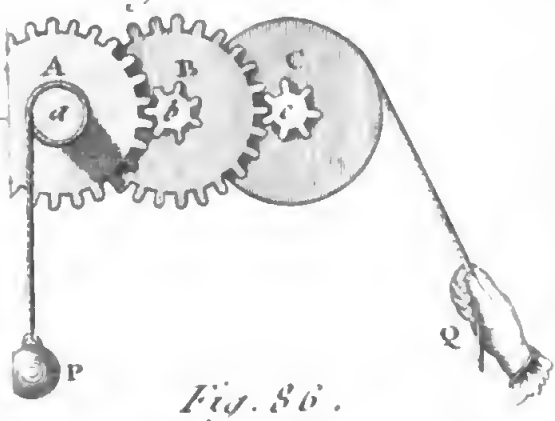
Fig. 78.

Fig. 79.



BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" - NAPOLI

Fig. 85.



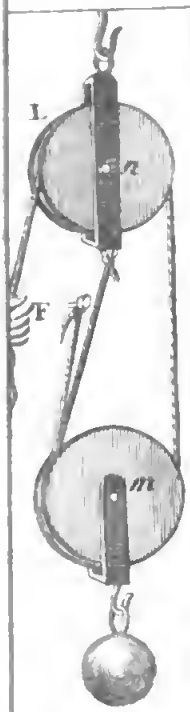


Fig. 86.

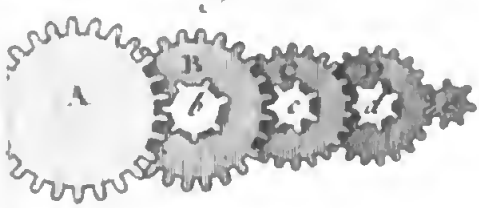


Fig. 87.

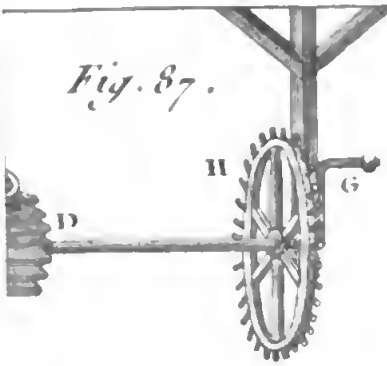
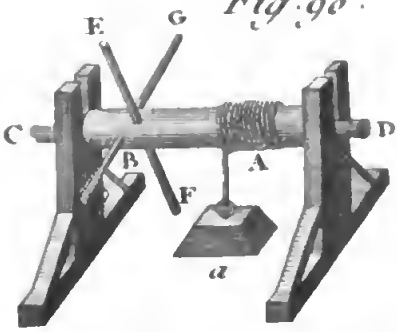
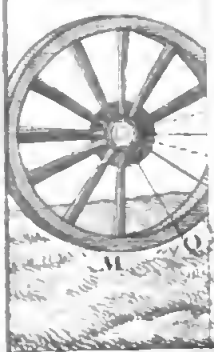


Fig. 90.

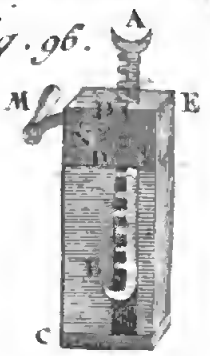




BIBLIOTECA NAZIONALE CENTRALE

Benard Dirav.!

Fig. 96.



98.

Fig. 99.

g. 93.

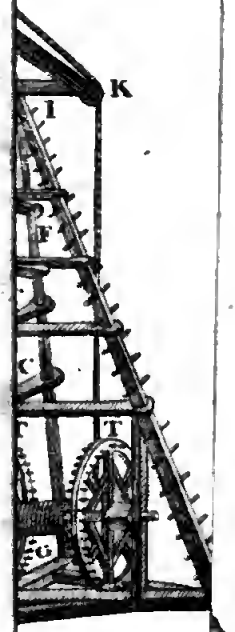
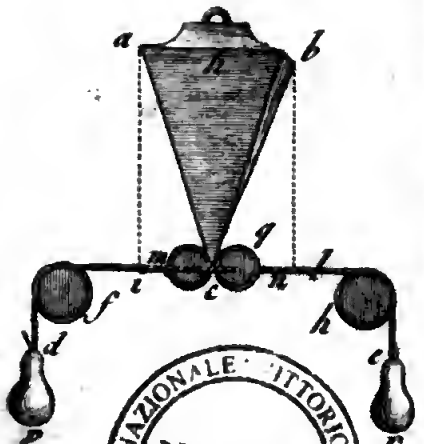
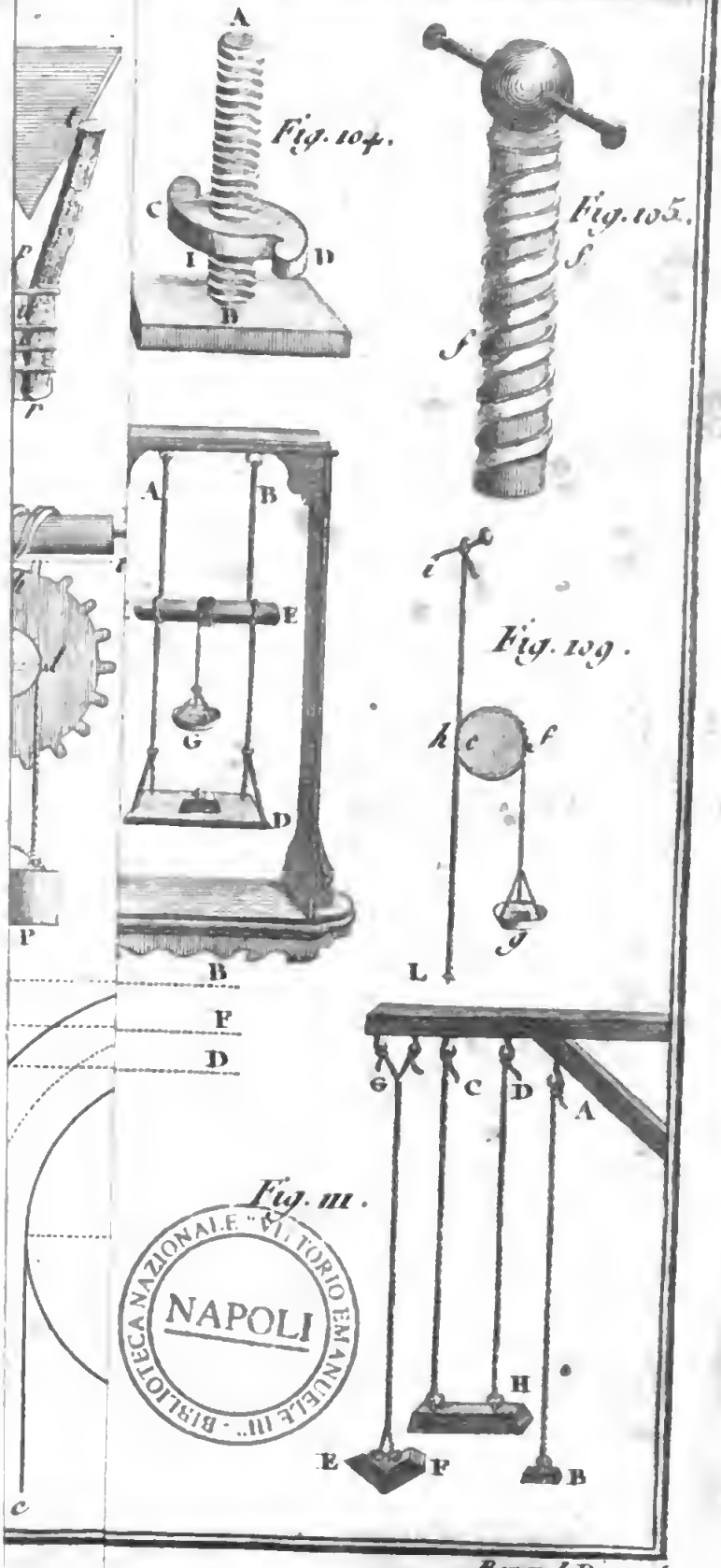


Fig. 100.



BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III
NAPOLI

Ricard Dirauit



BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" · BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" · NAPOLI